

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экологии и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.А. Кулагина  
подпись      инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

по направлению 20.03.01 – «Техносферная безопасность»

«Разработка эффективной технологии очистки сточных вод  
энергетического объекта»

Руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент О.В. Чурбакова  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ А.А.Линдерман  
подпись, дата

Нормоконтролёр \_\_\_\_\_ Е.Н. Зайцева  
подпись, дата

Красноярск 2019

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка эффективной технологии очистки сточных вод энергетического объекта» содержит 78 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 5 листов графического материала.

НЕФТЕСОДЕРЖАЩИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, РЕАГЕНТНАЯ ОЧИСТКА, ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЯ, ЭЛЕКТРОЛИЗЕР, ЭЛЕКТРООБРАБОТКА.

Объект исследования : энергетический объект.

Целью работы является изучение и усовершенствование методов и способов очистки сточных вод от вредных загрязняющих веществ, образующихся в промышленных сточных водах предприятия в результате его деятельности.

Актуальность работы заключается в изучении и усовершенствовании способов очистки для повышения эффективности очистки воды от вредных загрязняющих веществ, образующихся в промышленных сточных водах

В результате выполнения ВКР были проанализированы литературные источники по очистке сточных вод с выявлением наиболее подходящего для данного типа сточной воды. Предложена усовершенствованная схема, которая выдает наиболее эффективные показатели, по сравнению с традиционной схемой очистки по технико – экономическим показателям.

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка эффективной технологии очистки сточных вод энергетического объекта» содержит 78 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 5 листов графического материала.

Целью работы является изучение и усовершенствование методов и способов очистки сточных вод от вредных загрязняющих веществ, образующихся в промышленных сточных водах предприятия в результате его деятельности.

Выпускная квалификационная работа посвящена решению проблемы очистки сточных вод энергетического объекта. Данная работа построена на изучении физико – химических методов очистки сточных вод.

В первом разделе данной работы были изучены разнообразные методы и способы очистки сточных вод. На основе данного обзора был выбран наиболее рациональный, эффективный для изучения метод, метод физико – химический очистки, последующие части работы были построены на исследовании данного метода.

Во втором разделе выпускной квалификационной работы произведен расчет реагентной и электрокоагуляционной технологических схем очистки сточных вод промышленного предприятия. Далее был произведен расчет технико – экономических показателей и сделан анализ полученных результатов.

В результате выполнения ВКР были проанализированы литературные источники по очистке сточных вод, с выявлением наиболее подходящего для данного типа сточной воды метода. Предложена усовершенствованная схема, которая выдает наиболее эффективные показатели, по сравнению с традиционной схемой очистки по технико – экономическим показателям.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экологии и безопасность жизнедеятельности».

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.А. Кулагина  
подпись      инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
в форме бакалаврской работы

Студенту: Линдерман Анастасии Андреевне группа ФЭ15-10Б  
Направление (специальность) 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка эффективной технологии очистки сточных вод энергетического объекта».

Руководитель ВКР : к.т.н., доцент Чурбакова О.В.

Исходные данные для ВКР: технологическая инструкция, нормативная, справочная и другая литература.

Перечень разделов: введение; анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки сточных вод; технологический расчёт; технико-экономическое обоснование выбора рационального метода очистки сточных вод; заключение; список использованных источников.

Перечень графического и иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов:

Лист 1 – Технологическая схема очистки сточных вод;

Лист 2 – Нефтеловушка;

Лист 3 – Эффект очистки при отстаивании в нефтеловушке;

Лист 4 – Электролизер;

Лист 5 – Техничко-экономическое сравнение вариантов.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

О.В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

А.А.Линдерман

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК  
выполнения ВКР**

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	11.05.2019 – 23.06.2019
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	24.06.2019 – 28.06.2019
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	29.06.2019 – 01.07.2019
Работа над нормативно-правовой базой, оформление расчетно-пояснительной записки	02.07.2019 – 04.07.2019
Графическое оформление чертежей	05.06.2019 – 07.07.2019
Оформление прочей документации	08.07.2019 – 10.07.2019

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись

О.В. Чурбакова

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

А.А. Линдерман

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки сточных вод.....	11
1.1 Механическая очистка сточных вод .....	13
1.2 Физико-химический метод очистки сточных вод .....	14
1.3 Химический метод обработки сточных вод.....	18
1.4 Биологический метод очистки сточных вод .....	20
2 Технологический расчет.....	24
2.1 Исходные данные.....	24
2.2 Технологическая схема.....	26
2.3 Расчет усреднителя с механическим перемешивающим устройством .....	28
2.4 Расчет нефтеловушки .....	29
2.4.1 Расчет тонкослойного модуля .....	33
2.4.2 Оценка эффективности процесса очистки от нефтепродуктов при отстаивании в нефтеловушке.....	35
2.5 Расчет промежуточного резервуара на 2 часа.....	38
2.6 Расчет электрокоагулятора .....	39
2.7 Вертикальный отстойник со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования.....	44
2.8 Скорый фильтр с зернистой загрузкой .....	50
2.8.1 Потери напора при промывке фильтра.....	57
3 Технико–экономическое обоснование выбора рационального метода очистки сточных вод.....	61
3.1 Расчет капитальных вложений .....	61
3.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат .....	65
3.2.1 Расходы на заработную плату .....	65
3.2.2 Стоимость электроэнергии .....	66
3.2.3 Затраты на текущий ремонт.....	68
3.2.4 Затраты на амортизацию: .....	68

3.2.5 Прочие затраты.....	69
3.2.6 Затраты на реагенты .....	69
3.3 Расчет приведенных затрат .....	70
3.4 Себестоимость очистки 1м <sup>3</sup> воды:.....	71
3.5 Эффективность инвестиций.....	71
3.6 Техничко-экономический анализ вариантов очистки сточных вод .....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	76



## ВВЕДЕНИЕ

Предприятия в процессе производства потребляют большое количество воды, загрязняя окружающую среду отходами в жидком виде. Воды, прошедшие через производственный процесс, отравляют атмосферу вредными веществами. Также сточные воды загрязняют почву, а воды, сбрасываемые в водоемы, вызывают гибель растений и живых организмов. Все это наносит непоправимый вред природе и здоровью человека.

Нефтепродукты в отработанных загрязненных жидкостях могут образовывать:

- нерастворимые пленки или плавающий слой, где нефтезагрязняющие частицы находятся в грубодисперсном, неустойчивом состоянии;

- эмульсии «вода-нефть», где частицы нефти находятся в растворенном или тонкодисперсном состоянии.

Нефтепродукты, загрязняющие применяемые на производстве в технологических процессах воды, могут проявлять различный характер поведения, который в основном зависит от двух наиболее важных и значимых качеств: растворимость и плотность. Растворимость нефтепродуктов колеблется от низкой, до практически нулевой. Что касается плотности то, по сравнению с плотностью воды, она является меньше, что обуславливает главное свойство нефтешастиц – это всплывание.

Сброс стоков не соответствующих определенному качеству оказывает негативное воздействие на флору и фауну источника, что может привести к необратимым последствиям и даже гибели водоема. Для решения данной проблемы приходят к выводу о создании наиболее эффективных очистных сооружений, т.е. более глубокого очищения сточной воды, интенсификации существующих систем очистки и минимизации количества сбрасываемой воды, а также перевод предприятия на бессточную систему водоснабжения. Это позволит не только защитить окружающую среду от пагубного воздействия

высокотоксичных нефтезагрязняющих веществ, но и сберечь определенное количество невозполнимого природного ресурса – нефти.

На основании приведенных выше суждений, можно сделать вывод о том, что работа является актуальной, так как вносит вклад в защиту окружающей среды от негативного влияния сбрасываемых сточных вод.

Изучение процесса электрокоагуляционной обработки сточных вод, а также нахождение оптимальных условий для осуществления данного метода, можно считать главной целью моих исследований.

## **1 Анализ литературных источников и патентной документации по методам очистки сточных вод**

К сточным водам кроме вод систем охлаждения относятся: сбросные воды систем гидрозолоулавливания (ГЗУ), отработавшие растворы после химических промывок теплосилового оборудования или его консервации: регенерационные и шламовые воды от водоочистительных (водоподготовительных) установок: нефтезагрязненные стоки, растворы и суспензии, возникающие при обмывах наружных поверхностей нагрева, главным образом воздухоподогревателей и водяных экономайзеров котлов, сжигающих сернистый мазут.

Составы перечисленных стоков различны и определяются типом ТЭС и основного оборудования, ее мощностью, видом топлива, составом исходной воды, способом водоподготовки в основном производстве и, конечно, уровнем эксплуатации.

Воды, использованные для охлаждения конденсаторов турбин и воздухоохладителей несут, как правило, только так называемое тепловое загрязнение, так как их температура на 8...10 °С превышает температуру воды в водоисточнике. В некоторых случаях охлаждающие воды могут вносить в природные водоемы и посторонние вещества. Это обусловлено тем, что в систему охлаждения включены также и маслоохладители, нарушение плотности которых может приводить к проникновению нефтепродуктов (масел) в охлаждающую воду. На мазутных ТЭС образуются сточные воды, содержащие мазут.[1]

Масла могут попадать в сточные воды также из главного корпуса, гаражей, открытых распредустройств, маслохозяйств.

*Нефтепродукты.* Стоки, которые попадают в водоемы, также могут содержать в своём составе нефтепродукты, которые вызывают у воды запах и привкус керосина, также при наличии нефтепродуктов в воде на её поверхности образуется плёнка или масляные пятна. Плёнка на воде, образованная наличием

в ней нефтепродуктов нарушает процесс газообмена и препятствует проникновению в воду световых лучей, загрязняет берега и прибрежную растительность.

Попавшие в водоем нефтепродукты в результате биохимического окисления постепенно разлагаются на углекислоту и воду. Однако этот процесс протекает медленно и зависит от количества растворенного в воде кислорода, температуры воды и количества микроорганизмов в ней. В летнее время пленка нефтепродуктов разлагается на 50-80% в течение 5-7 дней, при температуре ниже +10 °С процесс разложения идет более длительно, а при +4 °С разложения вообще не происходит. Донные отложения нефтепродуктов удаляются еще более медленно и становятся источником вторичного загрязнения воды.[2]

Наличие в воде нефтепродуктов делает воду непригодной для питья. Особенно большой ущерб наносится рыбному хозяйству. Рыбы наиболее чувствительны к изменению химического состава воды и к попаданию в нее нефтепродуктов в эмбриональном периоде. Нефтепродукты, попадающие в водоем, приводят также к гибели планктона - важной составляющей кормовой базы рыб. От загрязнения водоемов нефтепродуктами страдают также водоплавающие птицы. В первую очередь повреждаются оперение и кожа птиц. При обильном поражении птицы погибают [3].

Современные очистные сооружения промышленных стоков представляют собой сложный инженерный комплекс, включающий в себя трубопроводы, насосные и компрессорные станции, устройства очистки, обезвреживания и утилизации производственных вод.

Степень загрязнения сточных вод характеризуется количеством содержащихся в них различных органических примесей, а также коллоидных веществ, находящихся в растворенном и нерастворенном состоянии.

Методы очистки промышленных сточных вод должны полностью исключать загрязнение водоёмов, почвы и атмосферы. Для этой цели используются механические, физико-химические, биологические и комбинированные методы очистки сточных вод.

## 1.1 Механическая очистка сточных вод

Основной метод очистки производственных сточных вод – механический. *Механическая очистка* сточных вод является предварительным этапом, который обязательно предшествует полной очистке стоков. Задача механической очистки - извлечь из воды осевшие или взвешенные нерастворимые твердые частицы, волокна и грубодисперсные примеси.

Механическая очистка сточных вод очень важна при повторном использовании технической воды на производстве. Повторное использование технической воды не только способно вернуть в производственный цикл некоторое количество ценного сырья, но и максимально защищает экологию от сбросов ядовитых сточных вод, а также сохраняет запасы чистой природной воды.

Суть механической очистки состоит в том, что по подземному коллектору подаются производственные сточные воды, последовательно пройдя через подвижные и неподвижные решетки сита, поступают в песколовки, представляющие собой расширенные каналы, где вследствие значительного снижения скорости потока происходит оседание на дно песка и других минеральных примесей.

Далее загрязнённая вода поступает в бассейны отстойники, которые сооружаются из бетона, железобетона, кирпича или бута. Пробыв определённое время в секции первичного отстоя, сточные воды пропускаются через фильтры в бассейны вторичного отстоя и после чего сбрасываются в водоемы.

Развитие промышленности требует все большего количества очистных сооружений, отвечающих современному уровню развития науки и техники.

Также к числу методов механической очистки относится метод адгезионной сепарации. Сточные воды из системы очистных сооружений поступают по трубопроводу в верхний каскад, где происходит равномерное распределение загрязнённой воды по поверхности камеры. Далее при своём движении по каскадам, падающих потом засасывает воздух, образуя

водовоздушную смесь из мельчайших пузырьков к поверхности которых прилипают органические продукты. Смесь поступает в зону сепарации, где происходит её разделение на составные части. Более легкие органические продукты загрязнения покрывающие поверхность пузырьков, специальным устройством пробковым транспортером подаются к адгезионному барабану и удаляются. Твёрдые механические примеси оседают на дно лотка.[4]

Другим способом очистки является глубинно-адгезионная сепарация. Загрязнённая вода по трубам поступает на дно глубокого колодца, туда же компрессорными установками нагнетается воздух, который в виде пузырьков барботируется через слой грязной воды и при своём движении в верхний бассейн сцепляется с продуктами загрязнения, вынося их на поверхность, где продукты загрязнения собираются специальными устройствами.

## **1.2 Физико-химический метод очистки сточных вод**

Наряду с перечисленными способами очистки сточных вод, широко используются *физико-химические методы очистки* [6,7]. Физико-химические методы очистки, в отличие от биологических, могут обеспечивать устойчивую работу сооружений при низкой температуре жидкости, изменении гидравлических и органических нагрузок, а так же pH. Такие методы требуют значительно меньшую продолжительность обработки сточной жидкости. Запуск этих сооружений возможен непосредственно после их монтажа или перерывов в работе, они быстро восстанавливают требуемые параметры процессов очистки сточных вод и обработки осадка. Одним из них является способ коагуляции, суть его состоит в том что, в загрязнённую воду вводят коагулянты, чаще всего это серно-кислые соли алюминия (сульфат алюминия) происходит их соединение с солями жесткости, содержащимися в воде, при этом образуется коллоидное вещество с положительно заряженными частицами, которые при взаимодействии с отрицательно заряженными

частицами естественной мути вызывает нейтрализацию зарядов частицы взаимно притягиваются, укрупняются и быстро выпадают в осадок.

Наиболее полно изучен *флотационный способ очистки* сточных вод, содержащих жир, масло, нефть, нефтепродукты. Метод флотации основан на извлечении взвешенных или коллоидных частиц из жидкости в результате их прилипания к пузырькам воздуха, диспергированного или образующегося в этой жидкости [8]. Прикрепившиеся к пузырькам частицы всплывают на поверхность, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной воде.

Сущность производственных флотационных процессов заключается в том, что искусственно созданный в жидкой среде восходящий поток газовых пузырьков захватывает и уносит с собой к поверхности жидкости частицы жира, взвеси, образуя слой пены. Пена удаляется различными устройствами с поверхности очищаемой жидкости на дальнейшую обработку. В зависимости от способа насыщения сточной жидкости различают следующие методы флотации: импеллерную, напорную, вакуумную, электрофлотацию [10].

Иногда также используются комбинированные методы, например, совмещение коагуляции и флотации значительно сокращает процесс очистки и повышает ее эффективность.

Сорбционная очистка нефтезагрязнённых стоков заключается в фильтровании загрязненной воды через слой неподвижного сорбента. В качестве сорбента используют высушенный до 3-20% влажности карбонатный шлам осветлителей тепловых электрических станций химического состава  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Al}(\text{OH})_3$ .

Шлам образован при совместной коагуляции сульфатом железа и известковании насыщенным раствором известкового молока природной воды на водоподготовительной установке тепловых электрических станций. В качестве сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов известно применение множества материалов естественного и искусственного происхождения: кварцевый песок, глина, керамзит, торф, древесные опилки,

прокаленная окись алюминия, активированные угли, полистирол, химические волокна и др. Способ очистки сточных вод с применением в качестве сорбента измельченного природного минерала апатита заключается в том, что нефтесодержащие сточные воды подвергают предварительной механической очистке, а доочистку проводят в фильтровальных колонках диаметром 25 мм, загруженных сорбентом с диаметром зерен 1-2 мм. Высота слоя загрузки составляет от 200 до 400 мм.

Известный способ сорбционной очистки обеспечивает снижение концентрации нефтепродуктов в среднем до 0,04 мг/дм<sup>3</sup>.

Недостатком указанного способа является недостаточно высокая эффективность очистки.[11]

Кроме этого, природный минерал апатит необходимо добывать, производить его измельчение на специальном оборудовании, осуществлять транспортировку к месту очистки и его складирование, при этом значительно возрастает стоимость сорбента, что приводит к удорожанию способа очистки сточных вод от нефтепродуктов.

Задачей исследования является повышение эффективности способа очистки сточных вод от нефтепродуктов для достижения предельно допустимой концентрации нефтепродуктов при сбросе очищенной воды в рыбохозяйственные водоемы и удешевление способа очистки.

При очистке сточных вод от нефтепродуктов через слой карбонатного шлама осветлителей ТЭС высотой от 50 до 350 мм эффективность очистки увеличивается от 68 до 96%.

Известен метод электрокоагуляции для очистки промышленных сточных вод, основанных на электролизе с использованием металлических (стальных или алюминиевых) анодов, подвергающихся электролитическому растворению. Вследствие растворения анодов вода обогащается соответствующими ионами, образующими затем в нейтральной или слабощелочной среде гидроксид алюминия или гидроксид железа, которые под воздействием растворенного в воде кислорода переходят в гидроксид железа. В результате осуществляется



процесс коагуляции аналогичный обработке воды соответствующими солями алюминия или железа. Однако в отличие от применения солевых коагулянтов при электрокоагуляции вода не обогащается сульфатами или хлоридами, содержание которых в очищенной воде лимитируется как при сбросе ее в водоемы, так и при повторном использовании в системах промышленного водоснабжения [1,8,18].

При электрокоагуляции сточных вод, содержащих тонкодиспергированные примеси, протекают и другие электрохимические, физико-химические и химические процессы: электрофорез, катодное восстановление растворенных в воде органических и неорганических веществ или их химическое восстановление, флотация твердых и эмульгированных частиц пузырьками газообразного водорода, выделяющегося на катоде. Кроме того, происходит сорбция ионов и молекул растворенных примесей, а также частиц, эмульгированных в воде примесей, на поверхности гидроксида алюминия (железа), которые обладают значительно сорбционной способностью, особенно в момент образования. Хлопья гидроксида металла с сорбированными загрязнениями, сталкиваются с пузырьками газа, соединяются с ними и всплывают на поверхность жидкости. Некоторые частицы загрязнений, имеющие хлопьевидную структуру, могут самокоагулировать друг с другом, тем самым увеличивая эффект гетерокоагуляции всей системы. Для отделения хлопьев коагулянта с сорбированными загрязнениями применяют последующее отстаивание или флотацию.

Для сточных вод имеющих сравнительно небольшие концентрации нефти, целесообразным методом очистки является электрохимическая коагуляция [14-17]. Сущность ее в том, что под влиянием электрического тока заданной плотности, пропускаемого через загрязненную воду, происходит растворение анодов (чаще всего алюминиевых или железных) и переход ионов металлов в очищаемую воду. В воде ионы подвергаются гидролизу с образованием гидроокисей металлов, обладающих коагулирующей способностью. При этом возможны также окислительно-восстановительные

процессы и сорбция растворенных загрязнений хлопьями коагулянта, осаждающимися при отстаивании. Выделяющиеся на катоде газы (водород), способствует осветлению и обесцвечиванию воды путем выноса образующихся хлопьев вместе с находящимися в воде загрязнениями на поверхность воды с образованием пены, которая удаляется. На процесс электрокоагуляции влияет ряд факторов: материал электродов, скорость прохождения обрабатываемой жидкости в межэлектродном пространстве, расстояние между электродами, плотность и вид тока, температура и состав обрабатываемой воды.

### **1.3 Химический метод обработки сточных вод**

Метод химического воздействия нефтесодержащих отработанных вод, в технологической схеме очистки может быть применен в качестве доочистки стоков до оптимальных для сброса или повторного использования в производстве требований или как последняя ступень очистки, а точнее завершающее обеззараживание. Также возможно применение как предшествующая ступень перед биологической очисткой, для создания оптимальных и благоприятных условий для ее протекания. Химическая обработка подразделяется на несколько видов, таких как нейтрализация, восстановление и окисление. Для нефтесодержащих сточных вод наиболее приемлемым методом является окисление различными химическими соединениями (сильные окислители) и электролизом. Процесс химического воздействия по принципу окисления происходит под действием сильных окислителей, хлора, озона, а также некоторых других химических соединений. В результате данной обработки сточные воды становятся менее загрязненными, а токсичные соединения подвергаются химическому окислению и приобретают характер менее токсичных или вовсе нетоксичных соединений. Наиболее выгодными по технико-экономическим показателям, а также в наибольшей степени применяемыми химическими реагентами, в процессе окисления, оказались хлор и озон.[15] При хлорировании применяют хлор или его

соединения, например, гипохлорид натрия или хлорную известь и т.д. Применяя в данном процессе хлор или его производные, образуются побочные соединения, которые провоцируют повторное загрязнение вод. Озон химическое соединение, позволяющее проводить процесс окисления при нормальных температурах, без образования побочных продуктов, способствующих повторному загрязнению. Это химическое соединение способствует уменьшению цветности, устранению привкусов, запахов, т.е. улучшает органолептические свойства вод.

Многие методы обработки нефтесодержащих, использованных в технологических целях сточных вод не дают необходимого эффекта очистки, для повторного их применения в системе водоснабжения или же сброса в источник, на этом основании был предложен способ обработки сточной жидкости при помощи воздействия на нее импульсного электрического разряда.

Воздействие импульсного электрического разряда производится как при помощи электродов, так и без них и способствует электрохимическому окислению нефтезагрязняющих частиц в сточных водах. По итогам экспериментов и анализам их результатов авторами был сделан вывод, что воздействие на нефтесодержащие сточные воды импульсного разряда ведет к повышению скорости и глубины очистки стоков от нефтезагрязняющих частиц. Анализ современного состояния и перспектив развития технологий очистки нефтесодержащих сточных вод позволяет сделать вывод о том, что целесообразность выбора того или иного метода и схемы очистки сточных вод от нефтепродуктов зависит от состава, концентрации, режима поступления и объема стоков, технологических требований к очищенной воде, необходимости и возможности регенерации и повторного использования воды с учетом региональных условий.[18] Методы электрообработки получили развитие как эффективные и прогрессивные технологии очистки воды, так как они не увеличивают солевой состав очищенной воды и образуют значительно меньшее количество осадка. Для условий Сибири и Крайнего Севера электрохимические

методы имеют существенные преимущества перед традиционными методами обработки воды.

#### **1.4 Биологический метод очистки сточных вод**

Среди методов очистки сточных вод большую роль играет *биологический метод*, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения природных водоемов.

Биологическая очистка - обезвреживание и минерализация органических веществ сточной воды, которые не удастся извлечь из нее механической очисткой. Протекает она по типу аэробного окислительного процесса, где участвуют органические вещества сточной воды, микроорганизмы и кислород воздуха. Биологическая очистка основана на использовании тех же условий, в каких этот процесс биохимического распада органических веществ протекает в природе (почве, воде). По этому принципу сооружения и приемы биологической очистки разделяются на две группы: а) воспроизводящие процессы в почвенных условиях (поля фильтрации и орошения, биологические фильтры и аэрофильтры); б) воспроизводящие процесс в водной среде (биологические пруды, аэротенки).

*Поля орошения* - специально отведенные участки земли, предназначенные для очистки сточных вод путем естественной фильтрации их через слой почвы.

Профильтрованные сточные воды через закрытую или открытую дренажную систему поступают в естественные или искусственные водоемы (пруды). Поля орошения являются одним из лучших способов очистки сточных вод. Хорошей почвой для них считается супесчаная (с примесью не больше 15% глины), песчаная, используются также и черноземные почвы. Непригодны почвы глинистые, торфяные, мергелистые, известковые, а также мелкозернистые пески, подвергающиеся заиливанию. Почвенные участки под поля орошения отводят с низким уровнем грунтовых вод (не менее 3 м от поверхности).

Расстояние от полей до населенного пункта должно быть не менее 0,3-1 км с подветренной по отношению к населенной местности стороны. На полях применяют заливную и грядковую системы орошения. В первом случае участки периодически сплошь заливают сточными водами; во втором - их делят на гряды, отделенные одна от другой бороздами.[20] Сточные воды заполняют только борозды и фильтруются в почву через их дно и стенки. В зимний период фильтрационная и минерализующая способность полей орошения и фильтрации значительно снижается. Наблюдается намораживание воды на полях, а на поверхности почвы после оттаивания и фильтрации воды остается слой неминерализованного осадка. Поэтому весной поверхность полей разрыхляют вспашкой. Если орошение ведется по бороздам, то в морозы напускают воду, создают над бороздами ледяной и снежный покров и дальше ведут орошение под лед. В процессе фильтрации в верхних слоях почвы из сточных вод механически задерживаются взвешенные вещества и микроорганизмы, адсорбируются коллоидные, растворенные вещества и поглощаются дурно пахнущие газы.

При достаточном доступе кислорода воздуха процессы самоочищения или минерализации в орошаемой почве происходят весьма интенсивно. При недостаточном притоке кислорода в почву преобладают анаэробные процессы гниения органических веществ сточных вод, задержанных почвой. При хорошей работе полей орошения органические вещества быстро превращаются в конечные продукты минерализации (карбонаты, нитраты, сульфаты, фосфаты и др.). В итоге орошаемый участок обогащается солями, которые являются ценным питанием для растений. Поэтому поля орошения используют под сельскохозяйственные кормовые или овощные культуры (силосные растения, корнеплоды и разные овощи).

Однако выращивать на полях орошения кормовые и овощные культуры, использовать их в пищу человеку и в корм скоту необходимо под контролем санитарного и ветеринарного надзора. Установлено, что нередко на овощах, выращенных на полях орошения, обнаруживаются возбудители кишечных

инфекций и жизнеспособные яйца гельминтов. Чтобы предохранить сельскохозяйственные культуры от загрязнения возбудителями кишечных инфекций и зародышами гельминтов, единственно доступный способ распределения сточных вод на полях орошения - грядковая система с бороздами.

*Поля фильтрации* отличаются от полей орошения только тем, что служат главным образом для очистки хозяйственно-фекальных сточных вод и не используются под сельскохозяйственные культуры. На полях фильтрации земельный участок делится на поливные карты, на которые поочередно напускают сточные воды. Поля фильтрации должны быть доступны воздействию солнечных лучей и аэрации, а механические и физические свойства почвы - способствовать быстрой минерализации нечистот.

*Биологические фильтры* для очистки сточных вод применяют вместо полей прошения или полей фильтрации. Для них используют кокс или котельный шлак, керамзит, торф и другие пористые материалы. Закладывают их в специальные бассейны или на водонепроницаемые площади с определенным уклоном. Высота загрузки фильтра достигает 2 м. По сравнению с фильтрацией через почву биологические фильтры лучше аэрируются и более эффективно минерализуют загрязнения, задержанные из сточной воды. Различают оросительные биофильтры, аэрокоагуляторы, аэрофильтры или аэротенки.

*Биологические пруды* для очистки сточных вод устраивают или искусственно, или путем запруживания реки. Их делают спускными для очистки и осмотра. Вода прудов заполняется зелеными планктонными водорослями, которые под влиянием лучей солнца обогащают ее кислородом. Предварительно механически очищенные в отстойниках сточные воды спускают в пруды для минерализации. Сточные воды лучше очищаются в прудах неглубоких (0,5-1,5 м), но с большой поверхностью. Такие пруды можно также использовать для окончательной очистки сточных вод после полей фильтрации и орошения или после очистки их на биологических

филтрах. Биологические пруды наиболее эффективно можно использовать только в теплое время года (летом).[19]

Анализ литературных источников и патентной документации позволяет сделать следующий вывод:

Данные методы наиболее рациональны по технико-экономическому обоснованию в применении в данных территориальных условиях. В своей основе эти методы обработки нефтесодержащих сточных вод имеют как положительные, так и отрицательные стороны, опираясь на это необходимо не только изучить и исследовать интересующие нас методы обработки сточной жидкости, но и предусмотреть способы интенсификации данных процессов.

Учитывая изложенный выше вывод, была поставлена следующая задача:

1. Изучение процесса обработки загрязненных стоков электрохимическим методом – электрокоагуляцией.

## 2 Технологический расчет

### 2.1 Исходные данные

1) Предприятие – энергетические комплексы.

2) Производство – крупносерийное или серийное исполнения.

Комплектность большинства комплексов полная: имеются заготовительная, обрабатывающая и вспомогательная группы цехов.

3) Среднегодовое количество сточных вод, выпускаемых в водоем на единицу измерения,  $m = 26,9 \text{ м}^3$ .

4) Количество, производимой продукции в сутки,  $M=10$  шт.

5) Часы работы предприятия в сутки –  $t=16$  часов.

6) Коэффициент неравномерности –  $K=1,3$ .

Таблица 2.1 – Требования к воде, используемой в производстве комплекса

Показатели	Единица измерения	Техническая вода
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	10
Цветность	град	20
Жесткость	мг-экв/дм <sup>3</sup>	6
Окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	5
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	1
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	100
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	50
Остаточный хлор	мг/дм <sup>3</sup>	5
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,3
Сероводород	мг/дм <sup>3</sup>	Отсутствие
Йод	мг/дм <sup>3</sup>	Отсутствие



Таблица 2.2 – Характеристика сточных вод от предприятия

Показатели	Единица измерения	До очистки	После очистки
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	700	20-100
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	980	50-300
рН	-	8	8-9
Щелочность	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,2-6,2	0,2-6,2
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	300-1400	300-1400
Окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	30-300	100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	550	200-900
Сl	мг/дм <sup>3</sup>	170	20-500

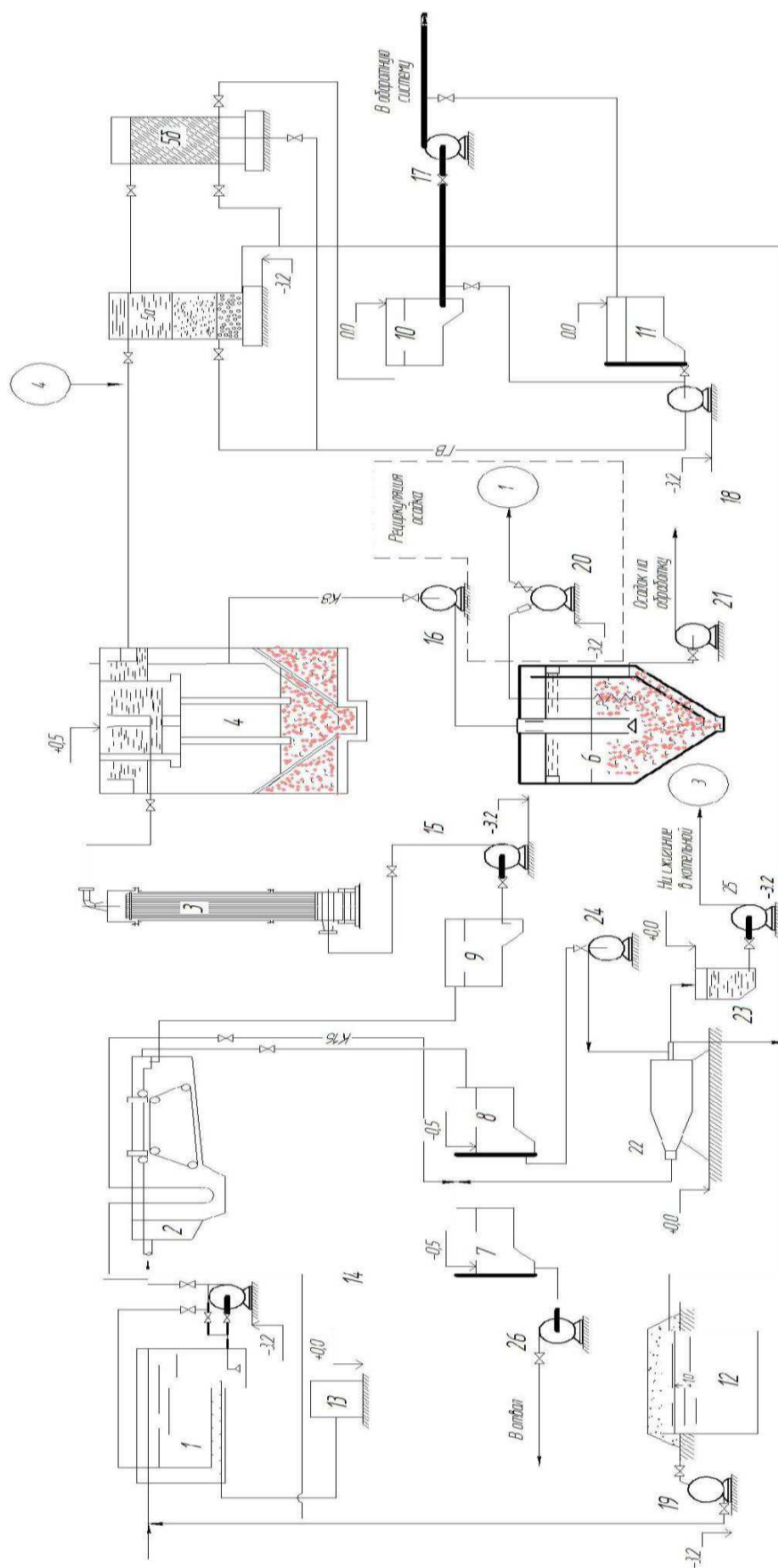
Определим часовой расход сточных вод завода по формуле:

$$Q_u = \frac{m \cdot M}{t} \cdot K_u = \frac{26,9 \cdot 10}{16} \cdot 1,3 = 21,86 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (2.1)$$

Таблица 2.3 – Расходы сточных вод

Q <sub>сут.</sub> , м <sup>3</sup> /сут	Q <sub>час.</sub> , м <sup>3</sup> /час	Q <sub>сек.</sub> , м <sup>3</sup> /сек
349,8	21,86	0,0061

## 2.2 Технологическая схема



$M_{в.в.} = 244,9 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 342,8 \text{ кг/сут}$
$Q = 349,8 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 980 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 700 \text{ мг/дм}^3$

→ Усреднитель

$M_{в.в.} = 244,9 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 342,8 \text{ кг/сут}$
$Q = 349,8 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 980 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 700 \text{ мг/дм}^3$

→ Нефтеловушка

с тонкослойн. модулем

$M_{в.в.} = 69,9 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 97,8 \text{ кг/сут}$
$Q = 349,25 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 280 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 200 \text{ мг/дм}^3$

→ Промежуточный

резервуар

$M_{в.в.} = 69,9 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 97,8 \text{ кг/сут}$
$Q = 349,25 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 280 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 200 \text{ мг/дм}^3$

→ Напорный  
электрокоагулятор

$M_{в.в.} = 69,9 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 97,8 \text{ кг/сут}$
$Q = 349,25 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 280 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 200 \text{ мг/дм}^3$

$D_{Al} = 32,7 \text{ мг/дм}^3$
---------------------------------

→ Вертикальный  
отстойник с

камерой хлопьеобразования

$M_{в.в.} = 11,4 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 10,3 \text{ кг/сут}$
$Q = 344,01 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 33 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 30 \text{ мг/дм}^3$

→ Скорый фильтр  
с зернистой загрузкой

$M_{в.г.} = 1,03 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 1,14 \text{ кг/сут}$
$Q = 344,01 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 3,3 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 3 \text{ мг/дм}^3$

→ Сорбционный  
Фильтр

$M_{в.в.} = 0,02 \text{ кг/сут}$
$M_{н.п.} = 0,02 \text{ кг/сут}$
$Q = 344,01 \text{ м}^3/\text{сут}$
$C_{нн} = 0,05 \text{ мг/дм}^3$
$C_{вв} = 0,05 \text{ мг/дм}^3$

→ РЧВ →

## 2.3 Расчет усреднителя с механическим перемешивающим устройством

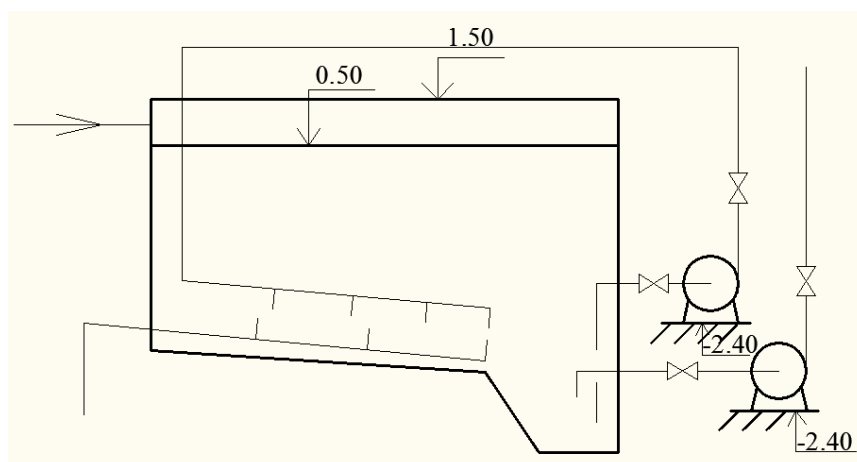


Рисунок 2.1 – Усреднитель с механическим перемешиванием

Нефтедержащие сточные воды составляют 30% от объема всех стоков предприятия.

Объем резервуара усреднителя:

$$W = Q_{\text{час}} \cdot T = 21,86 \cdot 8 = 174,88 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.2)$$

Проектируем 2 рабочих отделения, с глубиной  $H=2,5$  м.

Площадь одного отделения,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{W}{n \cdot H} \quad (2.3)$$

где  $n$  – число секций, равное 2.

$$F = \frac{174,88}{2 \cdot 2,5} = 34,98 \text{ м}^2.$$

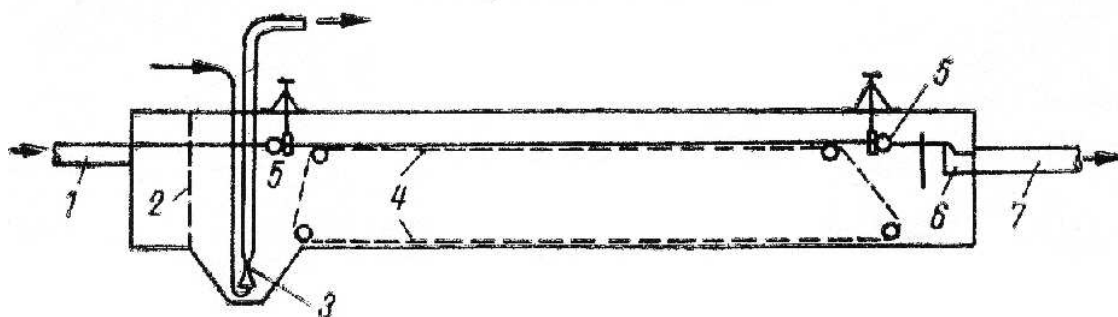
При ширине каждого резервуара 3м длина будет равна:

$$L = F/3 = 34,98/3 = 11,66 \approx 12 \text{ м} \quad (2.4)$$

## 2.4 Расчет нефтеловушки

Очистные сооружения нефтесодержащих стоков (нефтеловушки) - это, как правило, горизонтальные отстойники, оснащенные тонкослойными блоками или без них, с механизмами удаления уловленных нефтепродуктов и осадка.

Эффект очистки нефтеловушек невелик - 70-60 %. Эксплуатация нефтеловушек также затруднительна из-за их больших размеров и малой ремонтпригодности, особенно в период межсезонья и отрицательных температур.



- 1 – трубопровод для подачи сточной воды; 2 – щелевая перегородка для распределения жидкости по живому сечению нефтеловушки; 3 – гидроэлеватор;  
4 – скребковое устройство; 5 – поворотная нефтесборная труба; 6 – сборный лоток; 7 – трубопровод для отведения сточных вод.

Рисунок 2.2 – Схема нефтеловушки

Эффект очистки составляет 70%.

Средняя горизонтальная скорость (расчетная), мм/с:

$$V_p = \frac{Q_c}{n \cdot b \cdot h}, \quad (2.5)$$

где  $n$  – число секций, 2 шт;

$H$  – глубина рабочего слоя, 2 м;

$b$  – ширина секций, 3 м.

$$V_p = \frac{0,0061}{2 \cdot 3 \cdot 2} = 0,0005 \text{ м/с} = 0,51 \text{ мм/с},$$

Рабочая длина нефтеловушки, м:

$$L = \frac{12,5 \cdot H}{0,312 + \frac{U}{\sqrt{V_p}} - 0,00018 V_p^2}, \quad (2.6)$$

$$L = \frac{12,5 \cdot 2}{0,312 + \frac{0,69}{\sqrt{0,51}} - 0,00018 \cdot 0,51^2} = 19,56 \text{ м},$$

Скорость всплывания частиц нефти, мм/с:

$$U = \alpha \cdot (112 - 93 \cdot \gamma_{ж}) \cdot 10^{0,0143 \cdot d}, \quad (2.7)$$

где  $\gamma_n$  – удельный вес нефти, 0,89 т/м<sup>3</sup>;

$d$  – расчетный диаметр частицы нефти, 100 мкм.

$$U = 0,877 \cdot (112 - 93 \cdot 0,89) \cdot 10^{0,0143 \cdot 100} = 690 \frac{\text{мкм}}{\text{с}} = 0,690 \text{ мм/с},$$

Коэффициент, учитывающий влияние механических примесей на всплывание нефти:

$$\alpha = 0,0015 \cdot \frac{K_H}{K_{МП}} + 0,875, \quad (2.8)$$

где  $K_H$  - концентрация нефти в воде, 980 мг/дм<sup>3</sup>;

$K_{МП}$  – концентрация механических примесей в воде, 700 мг/дм<sup>3</sup>.

$$\alpha = 0,0015 \cdot \frac{980}{700} + 0,875 = 0,877.$$

Продолжительность всплывания нефти, ч:

$$t_B = \frac{H}{U}, \quad (2.9)$$

$$t_B = \frac{2}{0,00069} = 0,8 \text{ ч},$$

$$t_p = \frac{L}{V_p}, \quad (2.10)$$

$$t_p = \frac{19,56}{0,0005} = 10,9 \text{ ч}.$$

Следовательно, удовлетворяется условие, согласно которому должно соблюдаться неравенство  $t_p > t_B$ .

Количество осадка, задерживаемого в нефтеловушке, м<sup>3</sup>/сут:

$$W_{ос} = \frac{16 \cdot Q \cdot K_{МП} \cdot \alpha}{\gamma_{ос} \cdot (100 - P) \cdot 10^6}, \quad (2.11)$$

$$W_{ос} = \frac{16 \cdot 21,86 \cdot 700 \cdot 60}{\gamma_{ос} \cdot (100 - 70) \cdot 10^6} = 0,326 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Объем резервуара для сбора масла, м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{н.п.}} = \frac{(C_{\text{исх}}^{\text{н.п.}} - C_{\text{ин}}^{\text{ост}}) \cdot 16 \cdot Q_{\text{ч}}}{\gamma_{\text{н.п.}} \cdot 10^6}, \quad (2.12)$$

где  $C_{\text{исх}}^{\text{н.п.}} = 980$  мг/дм<sup>3</sup>;

$$C_{\text{ин}}^{\text{ост}} = 980 \cdot 0,4 = 392 \text{ мг/дм}^3.$$

$$W_{\text{н.п.}} = \frac{(980 - 392) \cdot 16 \cdot 21,84}{0,89 \cdot 10^6} = 0,23 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Расходы сточных вод после нефтеловушки:

$$Q_{\text{сут}}'' = Q_{\text{сут}}' - Q_{\text{сут}}', \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{сут}}'' = 349,8 - 0,556 = 349,25 \text{ м}^2/\text{сут},$$

$$Q_{\text{сут}}' = W_{\text{ос}} + W_{\text{пн}}', \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{сут}}' = 0,326 + 0,23 = 0,556 \text{ м}^2/\text{сут},$$

Таблица 2.4 – Расходы сточных вод после нефтеловушки

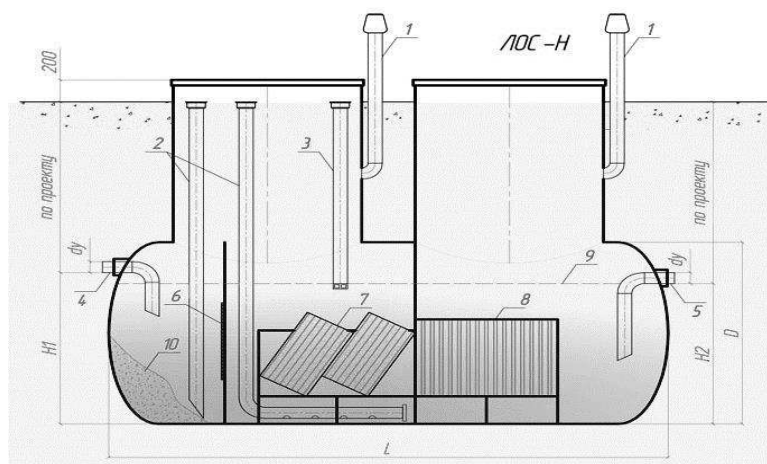
$Q_{\text{сут}}''$ , м <sup>3</sup> /сут	$Q_{\text{час}}''$ , м <sup>3</sup> /час	$Q_{\text{с}}''$ , м <sup>3</sup> /сек
349,25	21,83	0,0060



## 2.4.1 Расчет тонкослойного модуля

Для интенсификации процесса устанавливаем тонкослойные модули в нефтеловушке. Тонкослойные модули применяются для интенсификации процесса осаждения взвешенных и коллоидных частиц за счет увеличения контактной поверхности осаждения.

Пластины устанавливают под углом  $45^\circ$  в продольном направлении. Создание ярусов обеспечивает минимальную высоту всплытия осадка.



1 – стояк вентиляционный; 2 – стояк откачки осадка; 3 – стояк откачки нефтепродуктов;

4 – подводящий трубопровод; 5 – отводящий трубопровод; 6 – сороудерживающая решетка; 7 – тонкослойные модули; 8 – сорбционный блок; 9 – уровень воды; 10 – осадок

Рисунок 2.3 – Нефтеловушка с тонкослойными модулями

Площадь полочного пространства в поперечном сечении,  $\text{м}^2$  :

$$\omega = \frac{Q_{\text{ч}}}{N \cdot \vartheta}, \quad (2.15)$$

где  $N$  – число нефтеловушек, 1 шт.;

$V$  – скорость сточной воды в секциях нефтеловушки, м/ч.

$$\omega = \frac{21,83}{1 \cdot 18} = 1,213 \text{ м}^3.$$

Скорость сточной воды в секциях нефтеловушки, м/ч :

$$\vartheta = 10 \cdot U_0, \quad (2.16)$$

где  $U_0$  – гидравлическая крупность частиц, установленная экспериментально, 0,5 мм/с.

Ширина полочного пространства  $B = 0,5$  м.

$$\vartheta = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ мм/с} = 18 \text{ м/ч}.$$

Высота рабочей зоны, м:

$$H = \frac{\omega}{B} = \frac{1,213}{0,5} = 2,43 \text{ м} \quad (2.17)$$

Необходимое время оседания, мин.:

$$t_0 = \frac{h_0}{3600 \cdot U_0}, \quad (2.18)$$

где  $h_0$  – высота секции полочного пространства, 100 мм.

$$t_0 = \frac{100}{3600 \cdot 0,5} = 0,056 \text{ ч} = 3,3 \text{ мин}.$$

Длина полочного пространства, м:

$$L = k \cdot t_0 \cdot \vartheta, \quad (2.19)$$

где  $k$  – коэффициент запаса, 1,5.

$$L = 1,5 \cdot 0,056 \cdot 18 = 1,5 \text{ м}.$$

## 2.4.2 Оценка эффективности процесса очистки от нефтепродуктов при отстаивании в нефтеловушке

Для удаления пленочных нефтепродуктов и крупнодисперсных взвешенных веществ применяют нефтеловушки. В данном научном исследовании был проведен аудит эффективности работы существующей нефтеловушки. Эффект очистки при отстаивании в нефтеловушке представлен в таблице 2.1.

Как видно из приведенной таблицы, максимальный эффект очистки составляет 60,3%. Был проведен отбор пробы, поступающей в нефтеловушку и определена исходная концентрация сточных вод, которая составляла  $C_{\text{нп}} = 169,29$  мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2.1 Эффект очистки при отстаивании в нефтеловушке

$C_{\text{нп}}$ на входе в нефтеловушку, мг/дм <sup>3</sup>	$C_{\text{нп}}$ на выходе из нефтеловушки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки при отстаивании в нефтеловушке, %
1144,01	670,39	58,6
1691,81	998,26	59,0
670,32	400,24	59,7
169,29	102,16	60,3
135,43	81,76	60,0

Через определенные промежутки времени отстаивания в нефтеловушке проводили анализ сточной жидкости на выходе из нефтеловушки. По полученным данным построены графические зависимости (рисунок 2.1 и 2.2) и дана их аппроксимация при исследовании влияния продолжительности отстаивания и температуры сточных вод на эффект очистки.

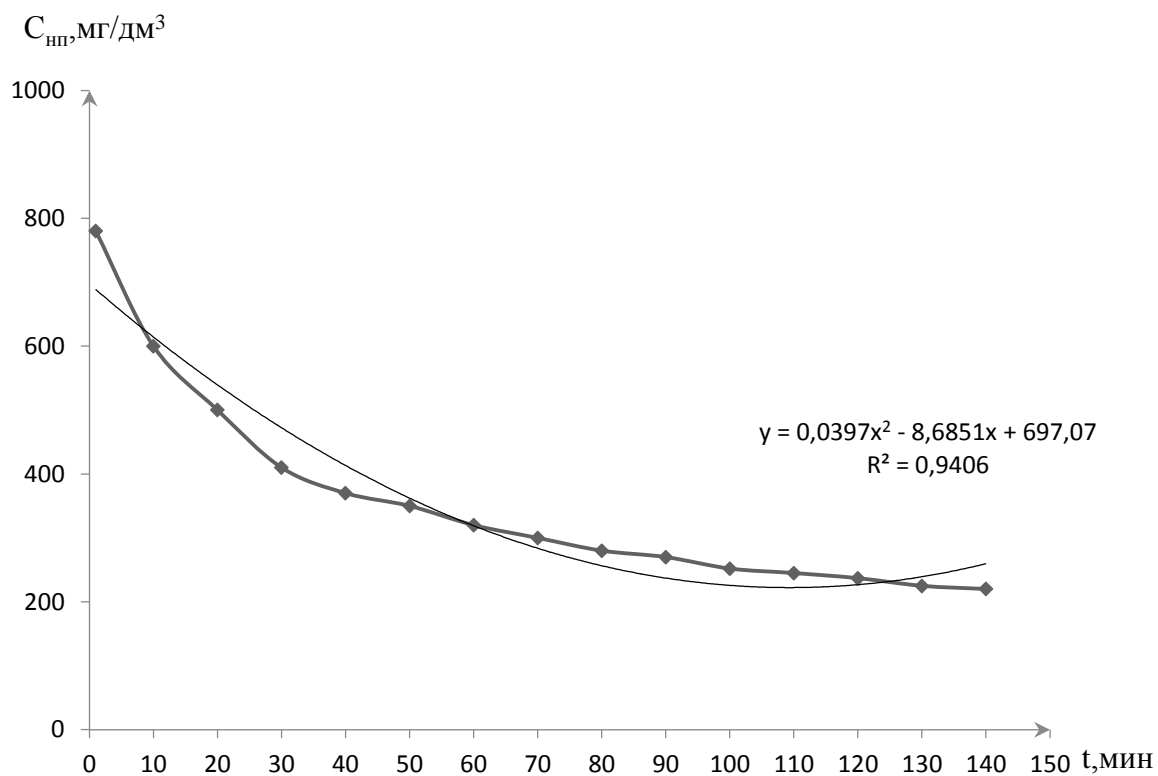


Рисунок 2.1 – Зависимость остаточной концентрации нефтепродуктов от времени отстаивания

Анализ графической зависимости на рисунке 2.1, позволил сделать вывод о том, что наиболее интенсивно процесс отстаивания нефтесодержащих сточных вод происходит в период первых 60 мин, после чего наблюдается значительное снижение процесса гравитационного разделения и через 120-180 мин оно практически прекращается.

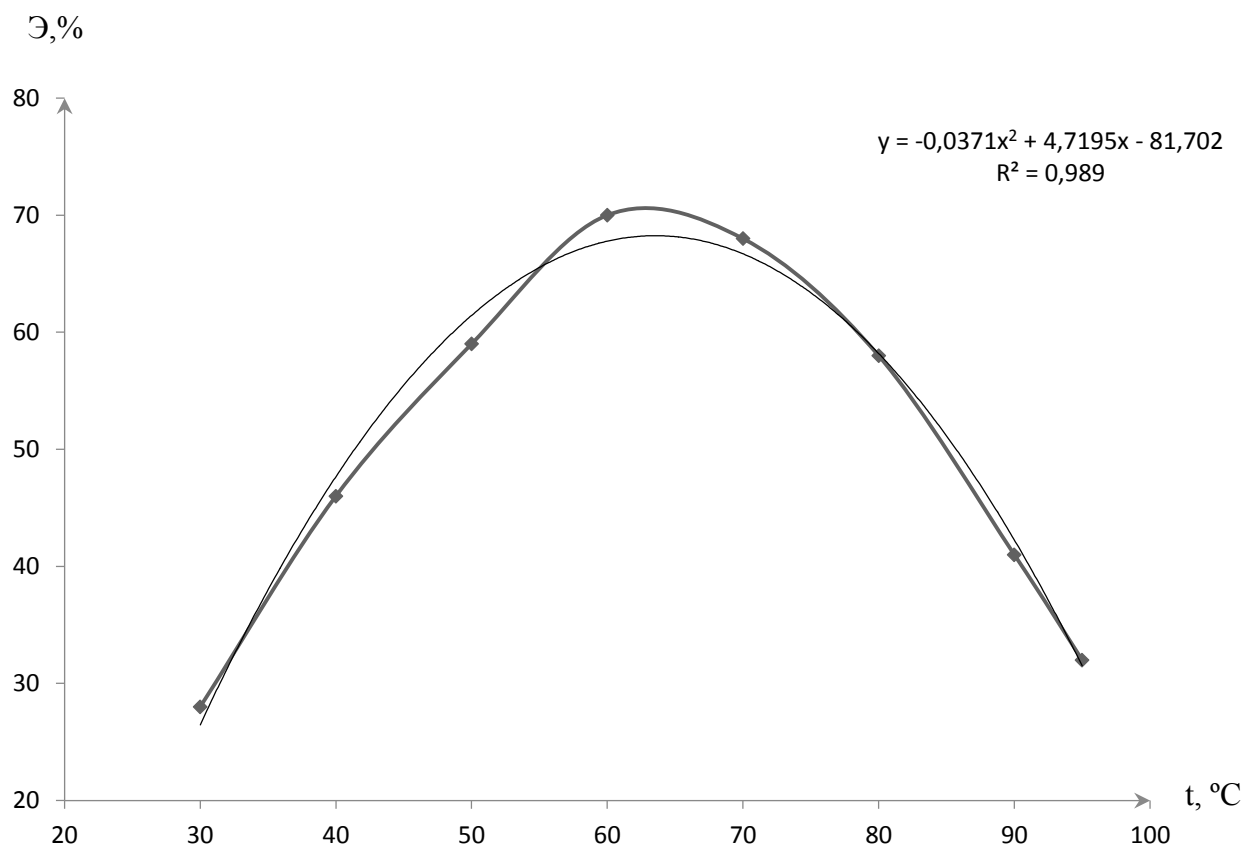


Рисунок 2.2 – Зависимость эффекта очистки от температуры

Как показывает рисунок 2.2, улучшить работу нефтеловушки можно при увеличении температуры до определенного значения.

Из рисунка 2.2 видно, что наилучшими условиями для снижения концентрации нефтепродуктов является температура  $t=60^{\circ}\text{C}$ . При этом эффект очистки составляет 70%.

Из полученных экспериментальных данных видно, что рациональными условиями для очистки сточных вод от пленочных нефтепродуктов и взвешенных веществ в нефтеловушке являются: отстаивание в течение не менее  $\tau = 60$  мин при температуре  $t= 60^{\circ}\text{C}$ .

## 2.5 Расчет промежуточного резервуара на 2 часа

Изменение концентрации загрязнений длится, м<sup>3</sup>/сут:

$$W = Q_{\text{час}} \cdot T, \quad (2.20)$$

$$W = 21,83 \cdot 2 = 43,66 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Проектируем 2 рабочих отделения, с глубиной Н=2 м.

Площадь одного отделения м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{W}{n \cdot H}, \quad (2.21)$$

$$F = \frac{43,66}{2 \cdot 2} = 10,92 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При ширине каждого резервуара 3м длина будет равна:

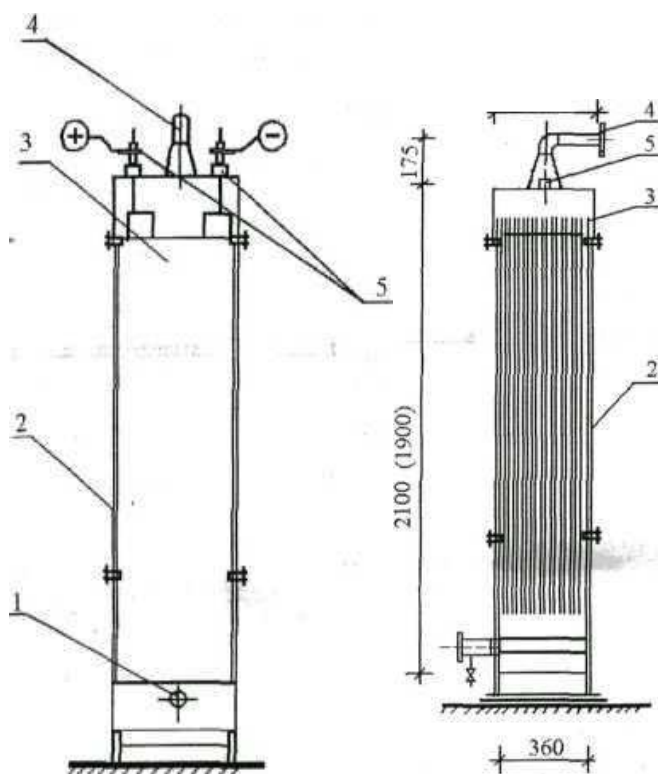
$$L = \frac{F}{3}, \quad (2.22)$$

$$L = \frac{10,92}{3} = 3,64 \text{ м.}$$

Принимаем насос марки 1,5Х-6К-1; подача 5,4 - 12 м<sup>3</sup>/ч; полный напор 20-15 м.в.ст. (0,2-0,15 МН/м<sup>3</sup>); число об/мин 2900; мощность двигателя 3-4 кВт; масса насоса 72 кг.

## 2.6 Расчет электрокоагулятора

Электрокоагуляцию применяют преимущественно в системах локальной очистки сточных вод, загрязненных тонкодисперсными и коллоидными примесями, от масел, нефтепродуктов, некоторых полимеров, соединений хрома и других тяжелых металлов. Она находит применение в процессах осветления, обесцвечивания, обеззараживания и умягчения воды в системах водоподготовки. Электрокоагуляция применима главным образом для очистки нейтральных и слабощелочных вод.



- 1 – питательный патрубок; 2 – съемный корпус; 3 – блок электродов;  
4 – отводящий патрубок; 5 – шина для подачи электроэнергии

Рисунок 2.4 – Электрокоагулятор

Доза коагулирующего иона:

$$C_{ни} = 980 \text{ мг} / \text{дм}^3 \geq C'_{ни} = 980 \cdot 0,4 = 392 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

40% остается (т.к. 60% очистка)

$$C_{66} = 700 \text{ мг} / \text{дм}^3 \geq C'_{66} = 700 \cdot 0,4 = 280 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Получаем дозу, она в 12 раз меньше, чем концентрация эмульгированных продуктов:

$$D_{al} = \frac{392}{12} = 32,7 \text{ мг} / \text{дм}^3. \quad (2.23)$$

Часовой расход алюминия, который необходимо ввести в обрабатываемую воду, г/ч:

$$Q_{al} = D_{al} \cdot Q_{\text{час}}, \quad (2.24)$$

$$Q_{al} = 32,7 \cdot 21,83 = 713,84 \text{ г/ч.}$$

Сила тока, обеспечивающая растворение алюминия, А:

$$J = Q_{al} \left( \frac{100}{k \cdot \eta} \right), \quad (2.25)$$

где  $k = 0,33$  – электрохимический эквивалент алюминия, г/Ач;

$\eta = 70$  – выход металла по току.

$$J = 713,84 \left( \frac{100}{0,33 \cdot 70} \right) = 3090,2 \text{ А.}$$

Рабочая поверхность анодов определяется из условия оптимальной плотности тока,  $\text{м}^2$ :



$$f_a = \frac{J}{i}, \quad (2.26)$$

где  $i$  – плотность тока,  $i=100$  А/м<sup>2</sup>.

$$f_a = \frac{3090,2}{100} = 30,902 \approx 30,9 \text{ м}^2.$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа, м:

$$\delta = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot A_{Fe} \cdot n_{\text{сут}}}{0,4 \cdot \gamma \cdot f_a \cdot 10^6}, \quad (2.27)$$

$$\delta = \frac{349,2 \cdot 32,7 \cdot 12}{0,4 \cdot 2,57 \cdot 30,9 \cdot 10^6} = 0,0043 \text{ м} = 4 \text{ м}.$$

Принимаем размеры пластин электрода в соответствии с конструкцией электролизера, м<sup>2</sup>:

$$f_{\text{эл}} = 0,42 \cdot 1,85 = 0,78 \text{ м}^2 \quad (2.28)$$

Общее количество анодов, штук:

$$n_a = \frac{f_a}{f_{\text{эл}}}, \quad (2.29)$$

$$n_a = \frac{30,9}{0,78} = 39,61 \approx 40 \text{ шт.}$$

Общее количество электродов, штук:

$$n = 2 \cdot n_a + 1, \quad (2.30)$$

$$n = 2 \cdot 40 + 1 = 81 \text{ шт.}$$

В аппарате в соответствии с конструкцией общее количество электродов 17, из них 9 анодов и 8 катодов, следовательно, количество аппаратов:  
 $81/17 = 4,76 \approx 5$  аппаратов +1 резервный.

Ширина электролизера, м:

$$B = b + 2a \quad (2.31)$$

$$B = 0,42 + 2 \cdot 0,01 = 0,44 \text{ м}$$

где  $a = 0,01$  – расстояние между электродом и корпусом электролизера, м;

$b = 0,42$  – ширина электрода, м.

Длина электролизера, м:

$$L = n \cdot 0,003 + (n - 1) \cdot 1 + 2a, \quad (2.32)$$

где  $l = 0,015$  – расстояние между электродами, м;

17 – количество электродов в одном аппарате.

$$L = 17 \cdot 0,003 + (17 - 1) \cdot 1 + 2 \cdot 0,01 = 0,311 \text{ м.}$$

Высота электролизера, м:

$$H = h_{\text{эл}} + a_1 + a_2, \quad (2.33)$$

где  $a_1 = 0,15$  – расстояние от электрода до дна, м;

$a_2 = 0,25$  – расстояние от электрода до поверхности воды, м;

$h_{\text{эл}} = 1,85$  – высота электрода, м.

$$H = 1,85 + 0,15 + 0,25 = 2,25 \text{ м.}$$

Строительная высота, м:

$$H_{\text{стр}} = H + 0,175, \quad (2.34)$$

$$H_{\text{стр}} = 2,25 + 0,175 = 2,425 \text{ м.}$$

Объем воды в электролизере, м<sup>3</sup>:

$$W_B = (H_{\text{стр}} \cdot L \cdot B) - (\pi \cdot b \cdot h_{\text{эл}} \cdot \delta), \quad (2.35)$$

$$W_B = (2,425 \cdot 0,311 \cdot 0,44) - (17 \cdot 0,42 \cdot 1,85 \cdot 0,004) = 0,28 \text{ м}^3.$$

Время пребывания воды в электролизере, ч:

$$W = W_B \cdot n_{\text{ап}}, \quad (2.36)$$

$$W = 0,28 \cdot 5 = 1,4 \text{ м}^3.$$

$$t = \frac{W}{Q_{\text{час}}}, \quad (2.37)$$

$$t = \frac{1,4}{21,83} = 0,06 \text{ ч.}$$

Скорость потока воды в электролизере, м/ч:

$$V = \frac{H}{t}, \quad (2.38)$$

$$V = \frac{2,25}{0,06} = 37,5 \text{ м/ч.}$$

Требуемая мощность, кВт:

$$E = J \cdot 12, \quad (2.39)$$

$$E = 3090,2 \cdot 12 = 37,082 \text{ кВт.}$$

Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup>:

$$W = \frac{E}{Q_{\text{час}}}, \quad (2.40)$$

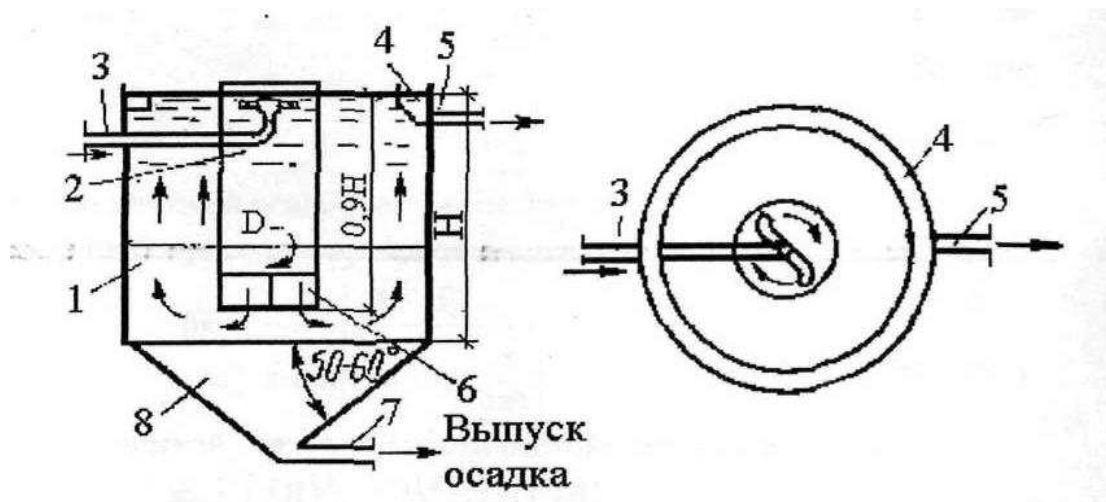
$$W = \frac{37,082}{21,83} = 1,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

## **2.7 Вертикальный отстойник со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования**

Вертикальные отстойники представляют собой круглые или в плане железобетонные резервуары. При коническом или пирамидальном днище угол между образующими конуса или наклонными стенками должен равняться 50-70 градусов. Осветленная вода переливается через борт отстойника в круговой желоб. При площади отстойника более 12 м<sup>2</sup> для сбора отстоянной воды в дополнение к периферийным устраивают радиальные желоба.

При работе фильтров с постоянной скоростью фильтрования отбор воды из отстойника производят через затопленные отверстия диаметром 20-30 мм в желобах, скорость движения воды в них – 1 м/с. Осадок, скапливающийся в нижней части отстойника, периодически удаляется самотеком (под давлением столба воды) при открытой задвижке на выпускной трубе диаметром 150-200

мм или же отсасывается насосом, если выпуск самотеком по местным условиям невозможен.



1 - круглый в плане бассейн; 2 - центральная цилиндрическая труба, 3 - подающий, 4 - трубопровод, 5 - сборный желоб; 6 - отводная труба; 7- гаситель; 8 - отвод осадка; 9 - коническая часть отстойника.

Рисунок 2.5 – Вертикальный отстойник со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования

Диаметр отстойника, м:

$$D = \sqrt{\left(F + f_{к.х.} \cdot \frac{4}{\pi}\right)} \quad (2.41)$$

$$D = \sqrt{\left(7,58 + 0,076\right) \frac{4}{3,14}} = 3,26 \text{ м.}$$

где  $F$  – площадь зоны отстаивания.

$$F = \beta \cdot \frac{Q_{\text{час}}}{3,6 \cdot V_p \cdot N'} \quad (2.42)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного использования отстойника, 1,5;

$V_p$  – скорость восходящего потока, 0,6 м/с;

$Q$  – часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$N$  – количество отстойников, 2 шт.

$$F = 1,5 \cdot \frac{21,83}{3,6 \cdot 0,6 \cdot 2} = 7,58 \text{ м}^2.$$

Площадь одной камеры, м<sup>2</sup>:

$$f_{к.х.} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot t}{60 \cdot H \cdot N}, \quad (2.43)$$

где  $t = 15 - 20$  мин – время пребывания сточной воды в отстойнике;

$H = 0,9 \cdot 4 = 3,6$  м – высота камеры хлопьеобразования,  $H_o = 4 - 5$  м – высота отстойника;

$N$  – число вертикальных отстойников, 2 шт.

$$f_{к.х.} = \frac{21,83 \cdot 15}{60 \cdot 3,6 \cdot 2} = 0,76 \text{ м}^2,$$

Период работы между сбросами осадка:

$$T = \frac{W_{ос} \cdot N \cdot \delta}{Q \cdot (C - m)}, \quad (2.44)$$

где  $\delta = 30000$  – концентрация уплотненного осадка;

$m = 8 - 12$  мг/дм<sup>3</sup> – допустимая концентрация взвешенных веществ;

$C$  – максимальная концентрация взвешенных веществ, мг/дм<sup>3</sup>;  $C = 700$  мг/дм<sup>3</sup>.

$$T = \frac{5,40 \cdot 2 \cdot 30000}{21,83 \cdot (312,7 - 12)} = 49,36 \text{ ч.}$$

После нефтеловушки:

$$C = C_{\text{ВВ}} \cdot 0,4 + k \cdot D_{\text{Al}} = 280 + 1 \cdot 32,7 = 312,7 \text{ мг/дм}^3 \quad (2.45)$$

где  $C_{\text{ВВ}} = 700 \cdot 0,4 = 280 \text{ мг/дм}^3$ .

Объем конической части отстойника,  $\text{м}^3$ :

$$W_{\text{ос}} = \frac{\pi \cdot h_k \cdot \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D \cdot d}{2} \right]}{3}, \quad (2.46)$$

где  $d = 200 \text{ мм}$  – диаметр трубопровода для сбора осадка;

$h_k$  – высота конической части отстойника.

$$h_k = \frac{(D-d)}{20 \cdot \text{tg} \cdot (90-\alpha)}, \quad (2.47)$$

где  $\alpha = 50 - 55^\circ$  – угол конусности.

$$h_k = \frac{(3,26-0,2)}{2 \cdot 0,84} = 1,82 \text{ м.}$$

$$W_{\text{ос}} = \frac{3,14 \cdot 1,82 \cdot \left[ \left( \frac{3,26}{2} \right)^2 + \left( \frac{0,2}{2} \right)^2 + \frac{3,26 \cdot 0,2}{2} \right]}{3} = 5,4 \text{ м}^3.$$

Площадь кольцевого желоба для сбора осветленной воды:

$$f_{\text{к.ж.}} = \frac{q_c}{V}, \quad (2.48)$$

где  $V = 0,6 - 0,7 \text{ м/с}$  – скорость течения в желобе.

$$f_{\text{к.ж.}} = \frac{0,003}{0,6} = 0,005 \text{ м}^2.$$

Площадь радиального желоба:

$$f_{p.ж.} = \frac{q_c}{4 \cdot V}, \quad (2.49)$$

$$f_{p.ж.} = \frac{0,003}{4 \cdot 0,6} = 0,00125 \text{ м}^2.$$

Водоворотная камера хлопьеобразования.

Площадь одной камеры, м<sup>2</sup>:

$$f_k = \frac{Q_{ч} \cdot t}{60 \cdot H_1 \cdot N}, \quad (2.50)$$

где T=15 – 20 мин;

N – число вертикальных отстойников, 1 шт.

$$f_k = \frac{21,83 \cdot 20}{60 \cdot 3,6 \cdot 1} = 2,02 \text{ м}^2.$$

Высота камеры, м:

$$H_1 = 0,9 \cdot H_0, \quad (2.51)$$

где H<sub>0</sub> – высота зоны осаждения вертикального отстойника, 4 м.

$$H_1 = 0,9 \cdot 4 = 3,6 \text{ м.}$$

Диаметр камеры, м:

$$d_k = 1,13 \cdot \sqrt{f_k} \quad (2.52)$$

$$d_k = 1,13 \cdot \sqrt{2,02} = 1,84 \approx 1,9 \text{ м.}$$

Расход воды, поступающей в камеру, м<sup>3</sup>/с:



$$q_c = \frac{Q_{\text{ч}}}{3600 \cdot N}, \quad (2.53)$$

$$q_c = \frac{21,83}{3600 \cdot 1} = 0,006 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Диаметр сопла, м:

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{0,908 \cdot 2}}, \quad (2.54)$$

где  $V_p$  – скорость выхождения воды из сопла, 2 м/с;

$\mu$  - коэффициент расхода, 0,908.

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,006}{0,908 \cdot 2}} = 0,065 \text{ м.}$$

Длина сопла, м:

$$l_c = \frac{d_c}{2} \cdot ctg \frac{\beta}{2}, \quad (2.55)$$

где  $\beta$  – угол конусности насадки,  $25^\circ$ .

$$l_c = \frac{0,065}{2} \cdot 4,51 = 0,15 \text{ м.}$$

Фактическая скорость выхода воды из сопла, м/с:

$$V_{\phi} = \frac{1,274 \cdot q_c}{d_c^2 \cdot \mu}, \quad (2.56)$$

$$V_{\phi} = \frac{1,274 \cdot 0,006}{0,065^2 \cdot 0,908} = 1,99 \text{ м/с.}$$

Потери напора в сопле, м:

$$h_c = 0,06 \cdot V_{\phi}^2, \quad (2.57)$$

$$h_c = 0,06 \cdot 4 = 0,24 \text{ м.}$$

Количество воды, теряемое при сбросе осадка из отстойника:

$$q_{oc} = \frac{K_p \cdot (C-m)}{\delta} \cdot 100\%, \quad (2.58)$$

$$q_{oc} = \frac{1,5 \cdot (312,7-12)}{30000} \cdot 100\% = 1,50\%.$$

$$Q''_{сут}, \text{ м}^3/\text{сут} - 100\% \quad 349,25 - 100\% \quad x=5,24$$

$$Q_{сут}^{осадка}, \text{ м}^3/\text{сут} - 1,5\% \quad x - 1,5\%$$

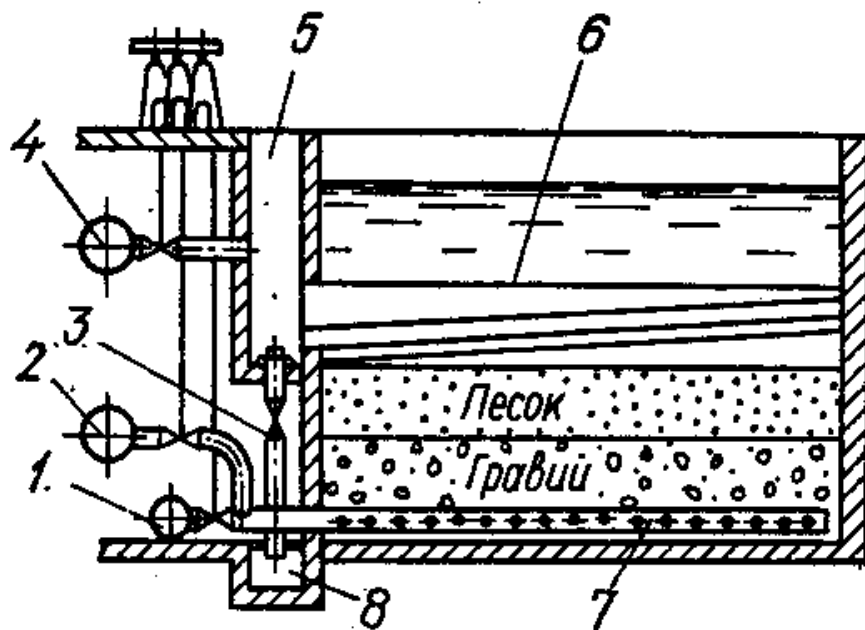
$$Q'''_{сут} = Q''_{сут} - Q_{сут}^{ос} = 349,25 - 5,24 = 344,01 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Таблица 2.5 – Расходы сточных вод после вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования

$Q'''_{сут}, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q'''_{час}, \text{ м}^3/\text{час}$	$Q'''_c, \text{ м}^3/\text{сек}$
344,01	21,50	0,0059

## 2.8 Скорый фильтр с зернистой загрузкой

Скорые фильтры используют для осветления мутных и цветных вод после коагулирования (и отстаивания) при реагентном умягчении. При скором фильтровании происходит быстрое загрязнение фильтра, требующее его очистки. Очистку фильтров производят путем промывки фильтрующей загрузки обратным током воды (чистой), подаваемой снизу через дренаж и проходящий через слой гравия и песка.



- 1 – отвод отфильтрованной воды; 2 – подача промывной воды; 3 – выпуск загрязненной промывной воды; 4 – подача осветляемой воды; 5 – распределительный карман;
- 6 – желоба для распределения фильтруемой и для отвода промывной воды; 7 – дренажная система; 8 – канализационный канал

Рисунок 3.6 – Схема открытого скорого фильтра

Суммарная площадь фильтров:

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{T \cdot V_{\text{р.н.}} - 3,6 \cdot n \cdot \omega \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{\text{р.н.}}}, \quad (2.59)$$

где  $T = 16$  часов – время работы фильтра;

$V_{\text{р.н.}} = 6$  м/ч – скорость фильтрования при нормальном режиме;

$n = 2$  – число промывок за сутки;

$\omega = 12,5$  л/с – интенсивность промывки;

$t_1, t_2$  – простой фильтра в связи с промывкой,  $t_1 = 0,1$  ч,  $t_2 = 0,33$  ч;

$Q_{\text{сут}}$  – суточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

$$F = \frac{344,01}{16 \cdot 6 - 3,6 \cdot 2 \cdot 12,5 \cdot 0,1 - 2 \cdot 0,33 \cdot 6} = 4,14 \text{ м}^2.$$

Число фильтров:

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F}, \quad (2.60)$$

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{4,14} = 1,017.$$

Принимаем один рабочий и один резервный.

Размеры фильтра:  $B=1,0 \text{ м}$ ;  $L=4,2 \text{ м}$ .

Распределительная система фильтра.

Количество промывной воды:

$$q_{\text{пр}} = F \cdot \omega, \quad (2.61)$$

$$q_{\text{пр}} = 4,14 \cdot 12,5 = 51,75 \text{ л/с}.$$

Диаметр коллектора:

$$d_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{пр}}}{\pi \cdot V_{\text{кол}}}}, \quad (2.62)$$

где  $V_{\text{кол}} \leq 2 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,24 \text{ м}.$$

Принимаем диаметр коллектора 0,24 м.

Площадь фильтра на каждое ответвление распределительной системы:

$$f_{\text{отв}} = (L - d_{\text{кол}}) \cdot m, \quad (2.63)$$

где  $m=0,27$  м – расстояние между ответвлениями.

$$f_{\text{отв}} = (4,2 - 0,24) \cdot 0,27 = 1,0692 \text{ м}^2.$$

Расход воды через ответвления:

$$q_{\text{отв}} = f_{\text{отв}} \cdot \omega, \quad (2.64)$$

$$q_{\text{отв}} = 1,0692 \cdot 12,5 = 13,365 \text{ л/с} = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр ответвлений:

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{отв}}}{\pi \cdot V_{\text{отв}}}}, \quad (2.65)$$

где  $V_{\text{отв}} = 1,2$  м/с.

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,013}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,12 \text{ м}.$$

Суммарная площадь отверстий:

$$\Sigma f_0 = \alpha \cdot F, \quad (2.66)$$

$$\Sigma f_0 = \frac{0,25 \cdot 4,14}{100} = 0,010 \text{ м}^2.$$

Количество ответвлений в фильтре:

$$n = \frac{b}{m} = \frac{1,0}{0,27} \approx 4 \text{ шт.} \quad (2.67)$$

Число отверстий фильтра:

$$\sum n_0 = \frac{\sum f_0}{f_0}, \quad (2.68)$$

где  $f_0$  – площадь одного отверстия, мм<sup>2</sup>;  
 $d_0=10$  мм – диаметр отверстия.

$$\sum n_0 = \frac{0,010}{0,0000785} = 127 \text{ шт.}$$

Число отверстий ответвлений:

$$n_{\text{отв}} = \frac{\sum n_0}{n_0} \quad (2.69)$$

$$n_{\text{отв}} = \frac{127}{4} = 31,75 \approx 32 \text{ шт.}$$

Длина ответвления:

$$l_{\text{отв}} = L - d_{\text{кол}}, \quad (2.70)$$

$$l_{\text{отв}} = 4,2 - 0,24 = 3,96 \text{ м.}$$

Шаг оси отверстий:

$$l_o = \frac{l_{\text{отв}}}{n_0}, \quad (2.71)$$

$$l_o = \frac{3,96}{32} = 0,124 \text{ м.}$$

Отвод воды при промывке фильтра.

Ширина желоба:

$$B = K \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{\text{ж}}^2}{(1,57+a)^3}}, \quad (2.72)$$

где  $a=1 \div 1,5$  - отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины;

$K = 2,1$  – для желоба с треугольным лотком.

$$B = 2,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,05175^2}{(1,57+1)^3}} = 4,61 \text{ м.}$$

Расход воды на один желоб:

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{пр}}}{\Pi_{\text{ж}}}, \quad (2.73)$$

где  $\Pi_{\text{ж}}$  – количество желобов.

$$q_{\text{ж}} = \frac{51,75}{1} = 51,75 \text{ л/с.}$$

Высота кромки желоба над поверхностью загрузки:

$$\Delta h = \frac{H_{\phi} \cdot l}{100} + 0,3, \quad (2.74)$$

где  $H_{\phi} = 1,2\text{ м}$  – высота фильтрующего слоя;  
 $l = 30 - 45\%$  – относительное расширение фильтрующей загрузки.

$$\Delta h = \frac{1,2 \cdot 30}{100} + 0,3 = 0,66 \text{ м.}$$

Расчет воды на промывку:

$$P = \frac{\omega \cdot f \cdot t_1 \cdot 60 \cdot N}{Q_{\text{ч}} \cdot T_p \cdot 1000} \cdot 100\% \quad (2.75)$$

где  $t_1 = 6$  мин – продолжительность сброса фильтрата.

$$P = \frac{12,5 \cdot 4,14 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 1}{21,50 \cdot 7,2 \cdot 1000} \cdot 100\% = 12,04\%.$$

Время работы фильтра между промывками частей:

$$T_p = T_0 - (t_1 + t_2 + t_3), \quad (2.76)$$

где  $T_0 = 8 \div 12$  ч – рабочий фильтроцикл;

$t_3 = 0,17$  ч – продолжительность сброса первого фильтра в сток;

$t_1 = 0,3$  ч – продолжительность промывки;

$t_2 = 0,33$  ч – время простоя фильтра в связи с промывкой.

$$T_p = 8 - (0,3 + 0,33 + 0,17) = 7,2 \text{ час.}$$

Вода после промывки фильтра возвращается в голову сооружения (в усреднитель).



## 2.8.1 Потери напора при промывке фильтра

Потери напора в распределительной системе фильтра:

$$h_{p.c.} = \left( \frac{2,2}{\alpha^2} + 1 \right) \cdot \frac{V_{\text{кол}}^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{V_{p.m.}^2}{2 \cdot g}, \quad (2.77)$$

где  $V_{\text{кол}} = 1,25$  м/с;

$V_{p.m.} = 1,7$  м/с.

$$h_{p.c.} = \left( \frac{2,2}{0,32^2} + 1 \right) \cdot \frac{1,25^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 1,94 \text{ м.}$$

Крупность зерен:

$$\alpha = \frac{\sum f_{\text{отв}}}{f_{\text{кол}}}, \quad (2.78)$$

где  $f_{\text{кол}} = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{4} = 0,0314$ .

$$\alpha = \frac{0,010}{0,0314} = 0,32.$$

Потери напора в фильтрующем слое:

$$h_{\phi} = (a \cdot b \cdot \omega) \cdot H_{\phi}, \quad (2.79)$$

где  $a = 0,76$  – крупность зерен;

$b = 0,017$  – параметры песка;

$H_{\phi} = 1,2$  – высота фильтрующего слоя.

$$h_{\phi} = (0,76 \cdot 0,017 \cdot 12,5) \cdot 1,2 = 1,17 \text{ м.}$$

Потери напора в поддерживающих слоях:

$$h_{n.c.} = 0,022 \cdot H_{n.c.} \cdot \omega, \quad (2.80)$$

где  $H_{n.c.} = 0,5 \text{ м}$  – высота поддерживающего слоя;

$\omega$  – интенсивность промывки.

$$h_{n.c.} = 0,022 \cdot 0,5 \cdot 12,5 = 0,137 \text{ м.}$$

Потери напора в подводящем трубопроводе:

$$h_{n.m.} = i \cdot l, \quad (2.81)$$

$$h_{n.m.} = 0,008 \cdot 100 = 0,8 \text{ м.}$$

Потери напора в трубопроводах:

$$h_{o.b.} = \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (2.82)$$

где  $V=1,8 \text{ м/с}$  – скорость в трубопроводе.

$$h_{o.b.} = \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,17 \text{ м.}$$

Потери напора в местных сопротивлениях:

$$h_{m.c.} = \sum \xi \cdot \frac{V_{\text{кол}}^2}{2 \cdot g}, \quad (2.83)$$

$$h_{m.c.} = 2,664 \cdot \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,44 \text{ м.}$$

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4, \quad (2.84)$$

$$\sum \xi = 0,984 + 0,26 + 0,5 + 0,92 = 2,664.$$

Сумма потерь напора:

$$\sum h = h_{p.c.} + h_{\phi} + h_{n.c.} + h_{n.m.} + h_{o.b.} + h_{m.c.}, \quad (2.85)$$

$$\sum h = 1,94 + 1,17 + 0,137 + 0,8 + 0,17 + 0,44 = 4,66 \text{ м.}$$

Геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до желоба:

$$h_{\Gamma} = \Delta h_{\text{ж}} + H_{\phi} + 4,5, \quad (2.86)$$

где  $\Delta h_{\text{ж}} = 0,5 \text{ м}$

$$h_{\Gamma} = 0,5 + 1,2 + 4,5 = 6,2 \text{ м.}$$

Напор насоса:

$$H = h_{\Gamma} + \sum h + h_{3.n.}, \quad (2.87)$$

где  $h_{3.n.} = 1,5 \text{ м}$  – запас напора.

$$H = 6,2 + 4,66 + 1,5 = 12,36 \text{ м.}$$

Подбираем насос марки 2Х-6К-1: подача – 12-29м<sup>3</sup>/ч; напор – 35 – 25мм.рт.ст.; частота вращения 2900 об/мин.

Вывод: В данном разделе показан расчет современной технологии очистки производственных сточных вод, усреднитель - нефтеловушка с тонкослойным модулем – промежуточный резервуар – напорный электрокоагулятор – вертикальный отстойник с камерой хлопьеобразования - скорый фильтр с зернистой загрузкой – сорбционный фильтр – РЧВ.

### **3 Технико–экономическое обоснование выбора рационального метода очистки сточных вод**

Для обоснования рациональной технологической схемы очистки сточных вод было проведено технико-экономическое сравнение вариантов.

#### **3.1 Расчет капитальных вложений**

Для выбора рационального метода обработки сточных вод определяли основные параметры инвестиционной деятельности – объем инвестиций в основной капитал, продолжительность и интенсивность их осуществления по периодам строительства проектируемого объекта. При определении капитальных вложений (единовременных затрат) на осуществление инвестиционного проекта учитываем лишь прямые затраты в виде сметной стоимости строительства системы очистки нефтесодержащих сточных вод, состоящие из затрат:

- 1) на проведение строительных работ;
- 2) на приобретение оборудования;
- 3) на осуществление работ по монтажу оборудования и систем.

Выбор более экономичного варианта производился на основе сравнения суммарных денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности нескольких вариантов.

Вариант 1 (базовый) - технологическая схема очистки нефтесодержащих сточных вод при обработке сульфатом алюминия.

Вариант 2 – технологическая схема электрокоагуляционной очистки нефтесодержащих стоков.

В таблице 3.1 приведена потребность в капитальных вложениях на реализацию различных инвестиционных проектов системы очистки нефтесодержащих сточных вод производительностью 349,8 м<sup>3</sup>/сут.

Таблица 3.1 - Капитальные вложения при реализации различных инвестиционных проектов

№ п/п	Наименование оборудования	Кол- во, шт.	Стоимость единицы, т. руб.	Инвестиционные проекты	
				Вариант 1	Вариант 2
1	2	3	4	5	6
1	Резервуар-усреднитель, H=2м, В =3 м, L=4,2м.	1	164,9	164,9	164,9
2	Нефтеловушка H=1,36м, В=3м, L=15 м.	1	653,2	653,2	653,2
3	Смеситель H=1м, L=1м, В=1м	1	48,9	48,9	-
4	Бак для растворения коагулянта V=3,5 м <sup>3</sup>	1	22,5	22,5	-
5	Электролизер	2	52,5	-	105,0
6	Коалесцентный фильтр	2	39,9	-	79,8
7	Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования	1	177,9	177,9	177,9
8	Скорый фильтр с зернистой загрузкой D=1,0 м, H=2,7 м.	2	110,5	221,0	221,0
9	Шламонакопитель	1	164,9	164,9	164,9
10	Бак замасленных отходов, удаляемых из прямка нефтеловушки, V= 3,6 м <sup>3</sup>	1	23,1	23,1	23,1

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
11	Бак для сбора из нефтеловушки пленочных нефтепродуктов, V=3,6 м <sup>3</sup>	1	23,1	23,1	23,1
12	Промежуточный резервуар, V= 20 м <sup>3</sup>	1	67,4	-	67,4
13	Резервуар чистой воды, V=20 м <sup>3</sup>	1	67,4	67,4	67,4
14	Резервуар горячей воды, V= 24,3 м <sup>3</sup>	1	84,3	84,3	84,3
15	Резервуар загрязненной воды после промывки фильтров, V= 20м <sup>3</sup>	1	85,8	85,8	85,8
16	Воздуходувки ВК-1,5	2	72,4	144,8	144,8
17	Насосная станция 1 подъема К-50-32-125	2	72,4	144,8	144,8
18	Насосная станция 2 подъема К-50-32-125	2	72,4	144,8	144,8
19	Насос технической воды	2	72,4	144,8	144,8
20	Насос промывной воды ВКС1/16	2	72,4	144,8	144,8
21	Насос перекачки загрязненной воды	2	72,4	144,8	144,8
22	Насос подачи осадка на обработку	1	35,0	35,0	35,0
23	Центрифуга	1	5,4	5,4	5,4

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
24	Емкость для сбора масла $V=3,6 \text{ м}^3$	1	23,1	23,1	23,1
25	Насос подачи пленочных отходов на центрифугу	1	35,0	35,0	35,0
26	Насос подачи масла на сжигание	1	35,0	35,0	35,0
27	Песковой насос	1	35,0	35,0	35,0
28	Насос-дозатор коагулянта НД 400/16	2	187,5	375,0	-
29	Насос-дозатор щелочи НД 100/10	2	187,5	375,0	375,0
30	Насос дозатор кислоты НД 100/10	2	187,5	-	375,0
31	Расходный бак кислоты, $V=1 \text{ м}^3$	2	5,8	-	11,6
32	Расходный бак щелочи, $V=1 \text{ м}^3$	2	5,8	11,6	11,6
33	Расходный бак коагулянта, $V=1 \text{ м}^3$	1	5,8	11,6	-
34	Склад коагулянта, $S=2, 5 \text{ м}^2$	1	39,8	99,8	-
35	Расходомер	1	1,4	-	1,4
	Всего кап. вложений, т. руб.			3717,3	3764,7



## 3.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты, связанные с функционированием системы очистки нефтесодержащих сточных вод, представляют собой текущие издержки предприятия и слагаются по отдельным элементам годовых затрат.

Определяются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_p + \mathcal{Z}_{з/пл} + \mathcal{Z}_{эл} + \mathcal{Z}_a + \mathcal{Z}_{тр} + \mathcal{Z}_{пр} , \quad (3.2)$$

где  $\mathcal{Z}_p$  - стоимость реагентов и других строительных материалов, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{з/пл}$  - заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{эл}$  - стоимость электроэнергии, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{ам}$  - амортизационные отчисления, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{тр}$  - затраты на текущий ремонт, тыс. руб.;

$\mathcal{Z}_{пр}$  - прочие затраты, тыс. руб.

### 3.2.1 Расходы на заработную плату

Расходы на заработную плату обслуживающего персонала определяются умножением численности обслуживающего персонала на показатель среднегодовой заработной платы, рассчитанной на одного работающего соответствующей категории с учетом районного коэффициента.

Среднегодовая заработная плата обслуживающего персонала принимается по данным заказчика (11280 руб).

Доплаты за работу в ночное время, праздничные и выходные дни, премиальные вознаграждения принимаются в размере 35% от заработной платы.

Налоговые отчисления в государственные внебюджетные фонды от фонда заработной платы составляют 36,5%.

При численности обслуживающего персонала очистных сооружений, 3 человек, годовой фонд оплаты труда с учетом всех социальных отчислений составит:

$$Z_{з/п} = 12 \cdot Z_{\text{мин}}^{\text{мес}} \cdot K_{\tau} \cdot Ч, \quad (3.2.1)$$

где 12 – количество месяцев в году, мес.;

$Z_{\text{мин}}^{\text{мес}}$  - минимальный месячный размер заработной платы, тыс.руб.;

$K_{\tau}$  - коэффициент, учитывающий отчисления от суммы заработной платы единого социального налога в государственные внебюджетные фонды, 30%;

Ч – численность обслуживающего персонала системы канализации.

$$Z_{з/п} = 12 \cdot 11,3 \cdot 3,0 \cdot 5 = 2034 \text{ т. руб/год}$$

### 3.2.2 Стоимость электроэнергии

Общая потребляемая мощность оборудования представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Потребляемая мощность оборудования очистных сооружений

№	Наименование оборудования	Количество рабочих агрегатов	Мощность	Общая потребляемая мощность
Схема 1				
1	Воздуходувка ВК-1,5	1	5,5	5,5
2	Насосы К-50-32-125*	9	1,5	13,5
3	Насос-дозатор реагентов НД-400-16	2	1,6	3,2
Итого		-	-	22,2

Окончание таблицы 3.2

Схема2				
1	Электролизер со стальными электродами	1	1,5	1,5
2	Насосы К-50-32-125*	9	1,5	13,5
3	Насос-дозатор реагентов НД-100-10	2	1,6	3,2
Итого		-	-	18,2

**Установленная мощность равна:**

$$N = \frac{P \cdot K_0 \cdot N}{\cos \varphi}, \quad (3.2.2)$$

где  $P$  – коэффициент, учитывающий трансформаторный резерв, 1,5;

$K_0$  - коэффициент, учитывающий электросветильную нагрузку,  $K_0 = 1,05$

$N$  - мощность всех рабочих электроприемников,

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности электродвигателя,  $\cos \varphi = 0,9$

$$N1 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 22,2}{0,9} = 34,97 \text{ кВт}$$

$$N2 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 18,2}{0,9} = 31,85 \text{ кВт}$$

**Годовой расход потребляемой электроэнергии:**

$$C_{\text{эл/эн}} = \sum W \cdot T_1 / 10^5 \quad (3.2.3)$$

где  $\sum W$  - количество активной электроэнергии

$$\Sigma W = N \cdot 260 \cdot 16, \text{ кВт/год}$$

$$\Sigma W_1 = 34,97 \cdot 260 \cdot 16 = 145475,2 \text{ кВт/год}$$

$$\Sigma W_2 = 31,85 \cdot 260 \cdot 16 = 132496,0 \text{ кВт/год}$$

$$Z_{\text{эл/эн}} = \Sigma W \cdot T_1 \quad (3.2.4)$$

где  $T = 16 \cdot 260$  - число часов работы насоса в течение года

$T_1 = 2,82$  руб. - тариф на электроэнергию одноставочный.

$$Z_{\text{эл/эн}1} = 145475,2 \cdot 2,82 = 410,2 \text{ т.руб/год}$$

$$Z_{\text{эл/эн}2} = 132496,0 \cdot 2,82 = 373,6 \text{ т.руб/год}$$

### 3.2.3 Затраты на текущий ремонт

Затраты на текущий ремонт принимаются в размере 1% от капитальных вложений:

$$Z_{\text{т.р.}} = 0,01 \cdot KB \quad (3.2.5)$$

$$Z_{\text{т.р.}} = 0,01 \cdot 3717,3 = 37,2 \text{ руб/год}$$

$$Z_{\text{т.р.}} = 0,01 \cdot 3764,7 = 37,6 \text{ руб/год}$$

### 3.2.4 Затраты на амортизацию:

$$Z_{\text{ам}} = 0,2 \cdot KB \quad (3.2.6)$$

$$Z_{\text{ам}1} = 0,2 \cdot 3713,3 = 743,46 \text{ руб/год,}$$

$$Z_{\text{ам}2} = 0,2 \cdot 3764,7 = 752,94 \text{ руб/год.}$$

### 3.2.5 Прочие затраты

Принимаются в размере 20% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы обслуживающего персонала:

$$Z_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (Z_{\text{ам}} + Z_{\text{з/п}}) \quad (3.2.7)$$

$$Z_{\text{пр1}} = 0,2 \cdot (743,46 + 2034) = 555,5 \text{ руб/год}$$

$$Z_{\text{пр2}} = 0,2 \cdot (752,94 + 2034) = 557,4 \text{ руб/год}$$

### 3.2.6 Затраты на реагенты

В данной статье учитываются затраты на химические реагенты, используемые при эксплуатации сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод. Расчет годовой потребности материала и реагентов определяется в технологической части проекта. Годовая потребность в реагентах определяется по формуле:

$$Z = \frac{Q \cdot D_p \cdot T}{10^6}, \quad (3.2.8)$$

где  $D_p$  - расчетная доза реагента, г/м<sup>3</sup>.

$$Z_{\text{с.к.}} = \frac{21,86 \cdot 80 \cdot 4160}{10^6} = 7,28 \text{ т/год},$$

$$Z_{\text{к}} = \frac{21,86 \cdot 20 \cdot 4160}{10^6} = 1,82 \text{ т/год}$$

Затраты на материалы определяются:

$$C = Z \cdot C_p \quad (3.2.9)$$

где  $C_p$  – стоимость 1 тонны реагента, тыс. руб./т.

$$C_{ск} = 7,28 \cdot 5,24 = 38,15 \text{ тыс.руб.};$$

$$C_{с.а.} = 40,92 \cdot 6,5 = 265,98 \text{ тыс.руб.};$$

$$C_{о.л.} = 12,73 \cdot 15 = 190,95 \text{ тыс.руб.};$$

$$C_k = 1,82 \cdot 6,3 = 11,47 \text{ тыс.руб.}$$

Таблица 3.3 – Потребность в химических реагентах

Наименование реагентов	Стоимость 1 т, тыс. руб.	Количество реагента, т	Расчетная доза, г/м <sup>3</sup>	Всего, тыс. руб.
Сульфат алюминия	6,5	40,92	450	265,98

$$З_{p1} = З_{с.а.} = 265,98 \text{ т.руб.};$$

$$З_{p2} = 0$$

На основании вышеприведённых расчётов эксплуатационные затраты составляют:

$$З_{экспл1} = 277,45 + 2034 + 410,2 + 37,2 + 743,5 + 555,55 = 4057,85 \text{ т.руб}$$

$$З_{экспл2} = 2034 + 373,6 + 37,6 + 752,9 + 557,4 = 3755,5 \text{ т.руб.}$$

### 3.3 Расчет приведенных затрат

$$П_i = E \cdot KB + З_{экспл} \quad (3.2.10)$$

где  $E=0,16$  - абсолютный показатель экономической эффективности капитальных вложений.

$$\Pi_1 = 0,16 \cdot 3713,3 + 4057,85 = 4652,62 \text{ руб/год}$$

$$\Pi_2 = 0,16 \cdot 3764,7 + 3755,5 = 4357,85 \text{ руб/год}$$

### 3.4 Себестоимость очистки 1м<sup>3</sup> воды:

$$C = \frac{\text{Э}}{Q_{\text{год}}} \quad (3.2.11)$$

$$C1 = \frac{4652,62}{90948} = 0,051 \text{ т. р/м}^3 = 51 \text{ р/м}^3$$

$$C2 = \frac{4357,8}{90948} = 0,048 \text{ т. } \frac{\text{р}}{\text{м}^3} = 48 \text{ р/м}^3$$

### 3.5 Эффективность инвестиций

$$Z_{\text{п}} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t + Z_t}{(1+E)^t}, \quad (3.2.12)$$

где  $Z_t$  - сумма текущих затрат;

$E$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений

( $E=0,12$  – норма дисконта, заемный капитал);

$K_t$  - капитальные вложения.

$T$ - период расчета = 10 лет.

$$Z_{\text{п}} = \frac{(3713,3 + Z_t)}{(1+E)^t}. \quad (3.2.13)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{п}}^1 = & \frac{618,9 + 0,16 \cdot 3713,3}{1 + 0,16} + \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^2} + \\ & \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 2 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^3} + \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 3 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^4} + \\ & \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 4 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^5} + \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 5 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^6} + \\ & \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 6 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^7} + \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 7 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^8} + \\ & \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 8 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^9} + \frac{618,9 + 0,16 \cdot (3713,3 - 9 \cdot 618,9) + 4057,85}{(1 + 0,16)^{10}} = \\ & 20388,87 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_{\Pi}^2 &= \frac{627,5+0,16 \cdot 3764,7}{1+0,16} + \frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-627,5)+3766,97}{(1+0,16)^2} + \\
&\frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-2 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^3} + \frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-3 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^4} + \\
&\frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-4 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^5} + \frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-5 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^6} + \\
&\frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-6 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^7} + \frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-7 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^8} + \\
&\frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-8 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^9} + \frac{618,9+0,16 \cdot (3764,7-9 \cdot 627,5)+3766,97}{(1+0,16)^{10}} = \\
&19258,83 \text{ тыс. руб.}
\end{aligned}$$

### 3.6 Технико-экономический анализ сравниваемых вариантов очистки сточных вод

В таблице 3.4 приведены технико-экономические показатели сравниваемых вариантов очистки сточных вод.

Из таблицы видно, что наиболее рациональным вариантом является технологическая схема электрокоагуляционной очистки сточных вод.

На рис 2.2.1 приведены гистограммы изменения экономических показателей сравниваемых вариантов очистки сточных вод.

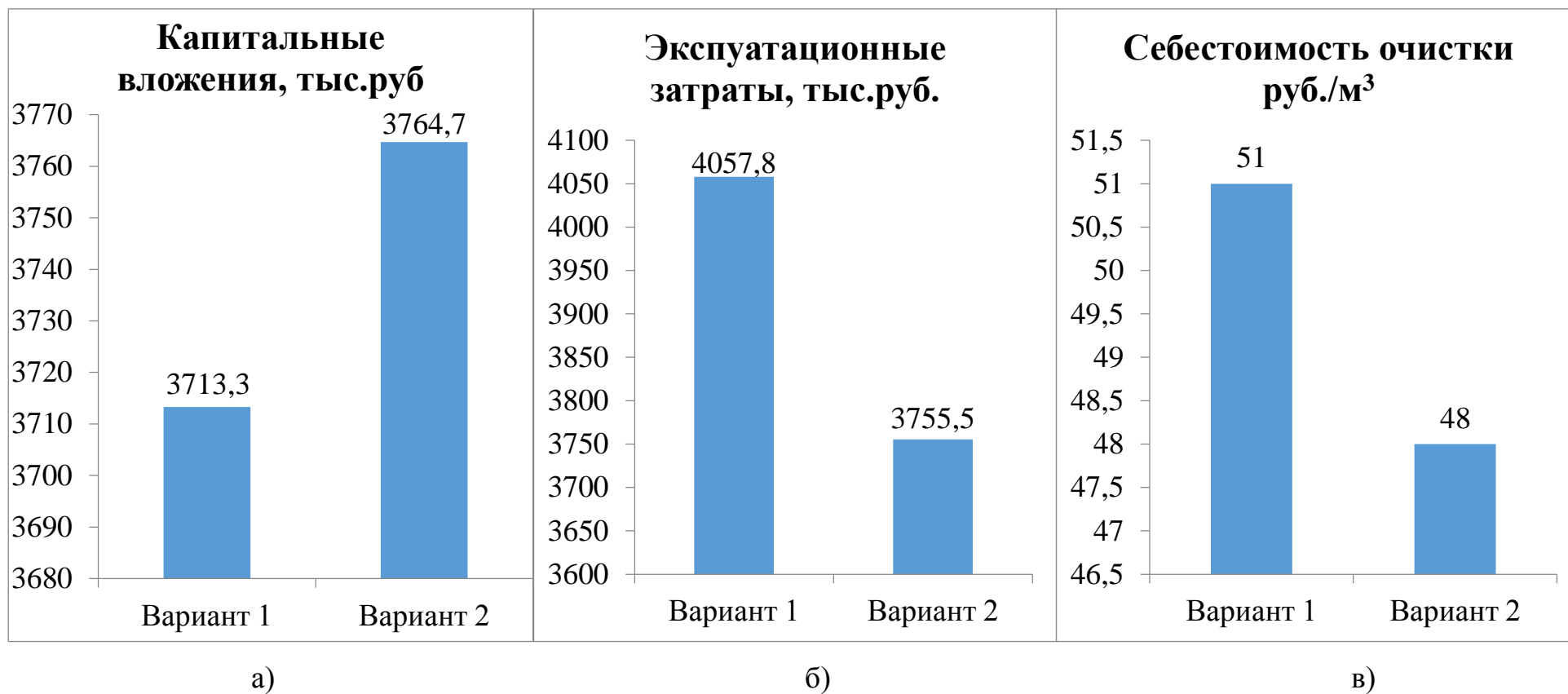


Таблица 3.4 – Сводная таблица технико-экономических показателей сравниваемых вариантов

Наименование	Ед. изм.	Сравниваемые варианты	
		1 вариант	2 вариант
Капитальные вложения	тыс.руб.	3713,3	3764,7
Эксплуатационные затраты		4057,85	3755,5
Модифицированные приведенные затраты		20388,87	19258,83
Себестоимость очистки	руб./м <sup>3</sup>	51	48

Вариант 1 - технологическая схема очистки х сточных вод при обработке сульфатом алюминия;

Вариант 2 - технологическая схема электрокоагуляционной очистки сточных вод.



а) Капитальные вложения, тыс.руб; б) Эксплуатационные затраты, тыс. руб; в) Себестоимость очистки руб./м<sup>3</sup>.

Рисунок 3.1- Гистограммы изменения экономических показателей сравниваемых вариантов очистки сточных вод относительно базового варианта

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита окружающей среды от негативного воздействия сброса недостаточно очищенных сточных вод одна из актуальнейших задач сегодняшнего времени.

Для решения поставленной задачи очень широко применяют и внедряют усовершенствованные эффективные технологии обработки сточных вод. Проводимые исследования позволят не только добиться необходимого качества сточных вод, но также получить большой экономический эффект. Также весьма распространены методы по минимизации сбрасываемых отработанных вод, т.е. переход предприятий на бессточную или оборотную систему водоснабжения.

Результаты проведенных исследований по электрокоагуляции были использованы для разработки технологической схемы очистки сточных вод от вредных загрязняющих веществ, образующихся в промышленных сточных водах предприятия в результате его деятельности.

Технологические схемы изучены и проанализированы не только со стороны эффективности очистки, но и со стороны экономической рациональности. Рациональность материальных затрат для осуществления любого предложения один из наиболее важных критериев. Изученные методы: электрокоагуляции и реагентной обработки показали, что с точки зрения технологии очистки каждый из них возможен, у них имеются как положительные стороны, так и отрицательные, но вот экономическое сравнение показало, что наиболее рационален метод электрокоагуляции, реагентная обработка весьма затратная по сравнению с другими изучаемыми методами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Разработка технологии очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст]/ А. В. Исакова. – Нефть, газ и бизнес. 2008, №4.
- 2 Петрова А.В. Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод/ А.В. Петрова// Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки – 2013. – №1. – С. 14-19.
- 3 Алимова А.Ф. Модернизация технологии очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ/ А.Ф. Алимова, Э.Р. Бариева // Вестник магистратуры. – 2014. – том 1, № 12 (39) – С. 48-50
- 4 Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран “Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике” Омск, 2005г.
- 5 РД 153-34.0-02.405-99 “Методические указания по нормированию сбросов загрязняющих веществ со сточными водами тепловых электростанций” Москва, 2000
- 6 Дорохов А.Ф., Кораблин А.В. “Защита водной среды от воздействия энергетических установок. Учебное пособие” Издательство: “Колос” 2009г.
- 7 В.В. Жабо охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС (1992г.).
- 8 Скалин Ф. В., Канаев А. А., Кооп Л. З. Энергетика и окружающая среда. — Л.: Энергоиздат, 1981.
- 9 Рихтер Л. А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. — М.: Энергия, 1975.
- 10 Пат. 2362742 Российская Федерация, МПК C02F 1/40 C02F 1/24 C02F 103/24. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст]/ Захаров Г. А., Фомин Д. П., Черненко В. П., Цыганкова К. В., Морозов Д. С., Звонарев М. И. Заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. В.В. Куйбышева) - № 2008100709/15. заявл. 09.01.2008. опубл. 27.07.2009 Бюл. № 21.

11 В. М. Гарин, И. А. Клёнова, В. И. Колесникова «Экология для технических ВУЗов», изд-во — Феникс, Ростов-на-Дону 2001

12 Пат. 143 014 Российская Федерация, МПК В03D 1/14 С02F 1/24. Полезная модель к патенту. Флотационная машина для очистки сточных вод [Текст]/ Б. С. Ксенофонтов, Е. В. Петрова, М. С. Виноградов. Заявитель и патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана - № 2013158896/03. Заявл. 30.12.2013. опубл. 10.07.2014 Бюл. № 19

13 Пат. 2 491 230 Российская Федерация, Электрофлотатор [Текст]/ Старших В. В., Максимов Е. А. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия" № 2012105405/05. заявл. 15.02.2012. опубл. 27.08.2013 Бюл. № 24.

14 Пат. 2519412 Российская Федерация, МПК С02F 1/463, С02F 101/20. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов/ Филатова Е.Г., Соболева А.А., Дударев В.И., Анциферов Е.А.- № 2012158159/05; заявл. 28.12.2012; опубл. 10.06.2014; Бюл. № 16. .

15 Исследование технологии электрохимической обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты [Текст]/ Т. И. Халтурина, Т. М. Руденко, О. В. Чурбакова.. -Известия вузов. Строительство. 2008. №8

16 Очистка сточных вод нефтяных месторождений методом электрокоагуляции [Текст]/ Арсланов Ш. С., Турахужаев С. А., Рыбальченко В. С. Наука и производство. 2015. №3.

17 Пат. 2011144320 Российская Федерация, Способ электрохимической очистки промышленных сточных вод и установка для его осуществления [Текст]/ Господинов Д. Г., Шкарин А. В., Юдаев Д. В. Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Межрегиональная Инженерная Экотехнологическая Компания" - № 2011144320/05. заявл. 01.11.2011. опубл. 27.08.2013 Бюл. № 24.

18 Инновационные способы и устройства для очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст]/ Васильев В. И., Максимов Е. А., Известия вузов. Нефть и газ. - 2014. - № 6

19 Пат. 2483028 Российская Федерация, МПК C02F 1/28. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов/ Николаева Лариса Андреевна, Бородай Екатерина Николаевна, Голубчиков Максим Алексеевич.- № 2011149298/05; заявл. 02.12.2011; опубл. 27.05.2013; Бюл. № 15. .

20 Пат. 2525245 РФ МПК C2C02F 9/08 (2006.01), C02F 1/28 (2006.01),C02F 1/52 (2006.01),B01D 21/01 (2006.01),C02F 103/44 (2006.01).Способ очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов/ Поворотов А.А.; Павлова В.Ф.; Кротова М.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «БМТ» – № 2011144321/05; заявл. 01.11.2011.; опубл. 10.08.2014. Бюл. №22 – 9с.

21 Биохимическая очистка нефтесодержащих сточных вод [Текст]/ Семенова Е. И., Бублиенко Н. А., Шилофост Т. А., Бублиенко А. В.. Химия и технология воды. 2013, т.35, №4.

22 Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов./ Е.А. Стахов. – Л.: Недра, 1983. – 263с.

23 Смаилова А.А. Методы очистки сточных вод нефтегазового комплекса/ А.А. Смаилова// Молодой ученый. – 2014. – № 5 (64). – С. 100 – 103.

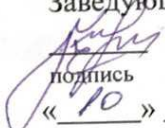
24 Долина Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография. – Днепропетровск: Континент, 2005. - 296 с.

25 Надеин А.Ф. Повышение эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод/ А.Ф. Надеин // Экология человека – 2009. – №12. – С.10-12.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экологии и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
подпись инициалы, фамилия  
« 10 » 07 2019 г.

Т.А. Кулагина

подпись

инициалы, фамилия

2019 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 – «Техносферная безопасность»

«Разработка эффективной технологии очистки сточных вод  
энергетического объекта»

Руководитель

  
подпись, дата

к.т.н., доцент


О.В. Чурбакова

Выпускник

  
подпись, дата

А.А. Линдерман

Нормоконтролёр

  
подпись, дата

Е.Н. Зайцева

Красноярск 2019

ая

ной  
78  
ЭВ, 5

ЭВ и  
вод

ийся  
ы по  
тана  
стке  
ение  
быть

но и  
евна  
ей  
рная

кова